

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Měření změny parametrů všesměrové antény s přidaným
stíněním či reflektorem**

**Measurement of Omnidirectional Antenna Parameters
Change Based on Added Shield or Reflector**

2014

Lukáš Koritar

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Koritar

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Měření změny parametrů všesměrové antény s přidaným stíněním či reflektorem

Measurement of Omnidirectional Antenna Parameters Change Based on Added Shield or Reflector

Zásady pro vypracování:

1. Popište vlastnosti běžně používaných antén.
2. Navrhněte typy běžně používané antény, u kterých lze docílit zlepšení vlastností rádiového spoje přidáním kovového stínění či reflektoru.
3. Pro navržené antény proměřte a zhodnoťte závislosti vlastností rádiového spoje na použitém stínění či reflektoru.

Seznam doporučené odborné literatury:

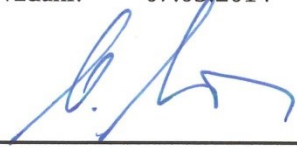
IKRÉNYI, Imrich. Amatérské krátkovlnové antény. 1. vydání. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1964. DT 621.396 67.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Tomis**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7. května 2014


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Martinu Tomisovi za odbornou pomoc, čas a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá všesměrovými anténami s přidaným stíněním či reflektorem. V první části je rozebrána teorie antén. Základní popis antény, princip vyzařování a její vlastnosti. Je také uveden popis, vlastnosti a použití běžných antén. Druhou částí je návrh antén, ve které jsou provedeny simulace daných všesměrových antén s přidaným reflektorem. V další části práce jsou parametry změřeny a srovnány s výsledky simulace.

Klíčová slova

Anténa, vlastnosti antén, reflektor, stínění, směrová charakteristika

Abstract

The bachelor thesis deals with omnidirectional antennas with added shield or reflector. In first part is analyzed the theory of antennas. Basic description of the antenna, the principle of radiation and its properties. It is also given description, properties and usage basic antennas. The second part is design of the antennas in which are performed simulations of the omnidirectional antennas with added reflector. In next part thesis are parameters measured and compared with the simulation results.

Key words

Antenna, properties of antenna, reflector, shield, radiation pattern

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
λ	m	Vlnová délka
C	F	Kapacita
c	ms^{-1}	Rychlost světla
D	m	Největší rozměr antény
f	Hz	Frekvence
G	dB	Zisk
l	m	Délka
P	W	Výkon
R	Ω	Odpor
s	m	Vzdálenost
X	Ω	Reaktance
Z	Ω	Impedance

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam
BTS	Základnová stanice (Base Transceiver Station)
ČSV	Činitel stojatých vln
ČZP	Činitel zpětného příjmu
DVB-T,S	Digitální televizní vysílání – pozemní, satelitní
ELMAG	Elektromagnetické
GP	Ground Plane anténa
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
PSV	Poměr stojatých vln
VF	Vysokofrekvenční
VŠB - TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
WiFi	Bezdrátová technologie

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Anténa a její vlastnosti	2
2.1	Pojem anténa	2
2.2	Jak anténa vyzařuje	2
2.2.1	Blízká reaktanční oblast (Rayleighova oblast)	4
2.2.2	Blízká vyzařující oblast (Fresnelova oblast)	4
2.2.3	Vzdálená vyzařující oblast (Fraunhoferova oblast).....	5
2.3	Vlastnosti antén	5
2.3.1	Rezonanční kmitočet a šířka pásma	5
2.3.2	Činitel stojatých vln.....	6
2.3.3	Směrová a vyzařovací charakteristika	7
2.3.4	Izotropický zářič.....	8
2.3.5	Směrový zářič.....	8
2.3.6	Vstupní impedance	8
2.3.7	Výkonová hustota vyzařovaného pole.....	9
2.3.8	Polarizační vlastnosti antén	9
2.3.9	Účinnost antény.....	10
2.3.10	Směrovost.....	10
2.3.11	Zisk.....	10
2.4	Základní typy antén.....	11
2.4.1	Liniové antény	11
2.4.2	Všesměrové antény.....	12
2.4.3	Směrové antény	13
2.4.4	Širokopásmové antény	14
2.4.5	Plošné antény.....	14
3	Návrh, simulace a měření antén	15
3.1	Reflektor a stínění	15
3.2	Volba antén	16
3.3	Simulace antén v programu 4NEC2.....	17
3.3.1	Horizontální půlvlnný dipól	17
3.3.2	Vertikální anténa s rovinným reflektorem.....	18
3.3.3	Vertikální anténa v plechovce	19
3.4	Postup a výsledky měření reálné frekvenční charakteristiky	20
3.4.1	Magnetická anténa pro GSM.....	21
3.4.2	Horizontální půlvlnný dipól	22

3.5	Postup a výsledky měření směrové charakteristiky.....	23
3.5.1	Magnetická anténa pro GSM.....	24
3.5.2	Horizontální půlvlnný dipól	26
3.5.3	Pendreková anténa.....	30
4	Závěr	34
	Použitá literatura	35
	Seznam příloh.....	36

1 Úvod

Tato práce se zabývá anténami. Antény jsou v této době využívány ve velkém množství na každém kroku. Velmi rozšířená bezdrátová komunikace by bez antén nemohla fungovat a proto je anténa důležitým prvkem každého bezdrátového řetězce. Bez tohoto prvku bychom se nepodívali na televizi, nepřipojili se k WiFi, ale také bychom nebyli schopni využít mobilní telefony. Anténní technika patří do oboru Rádiové techniky, která se dočkala velkého rozmachu v době světové války, kdy se armády snažily vymýšlet různé radiolokátory a jiné technologie, ke kterým potřebovali antény.

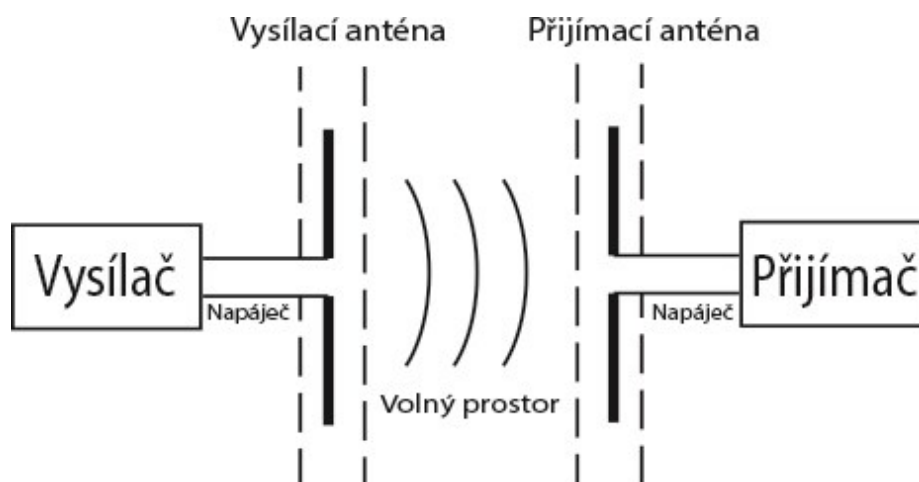
Druhou kapitolou této práce je teoretická část. V teorii je popsán úvod do problematiky antén. Co to vlastně anténa je, jaký je princip vyzařování a jaké vlastnosti ji charakterizují. Také je rozebráno základní rozdělení antén podle skupin. U dané skupiny je popis konkrétní antény, která je jejím typickým představitelem.

Třetí kapitolou je část, kde je popsáno k čemu slouží reflektor, jak se umísťuje k anténě a jaké druhy reflektoru jsou využívány v praxi. Další částí této kapitoly je výběr tří antén, které budou měřeny a simulace antén v modelovacím programu 4NEC2. Výsledky simulace slouží k porovnání výsledných charakteristik z praktického měření, které je také obsahem této kapitoly. Jsou popsány dva způsoby měření, kterými jsou hodnoceny závislosti přidaného reflektoru k anténě. Jedná se o měření reálné frekvenční charakteristiky a měření směrového diagramu. Pro měření reálné frekvenční charakteristiky jsou použity dvě antény a u měření směrového diagramu antény tři, kdy k předchozím dvou je proveden pokus umístění antény do plechovky, která slouží jako reflektor. U jedné antény je také provedeno srovnání dvou typů reflektoru.

2 Anténa a její vlastnosti

2.1 Pojem anténa

Anténa je zařízení pro vyzařování nebo příjem rádiových vln. Je nedílnou součástí v komunikačním řetězci začínající vysílačem a končící přijímačem. Anténa je hraničním prvkem tohoto řetězce a jejím úkolem je změna charakteru šíření elektromagnetické vlny z šíření podél vedení na šíření ve volném prostoru. Anténa vzhledem k pozici v komunikačním řetězci představuje, dle [1], nejjakostnější prvek- „zesilovač“ celé radiokomunikační soustavy. Proto svými parametry ovlivňuje kvalitu celého radiokomunikačního přenosu.



Obrázek 2.1: Komunikační řetězec[1]

Z obrázku 2.1 je zřejmé, že v radiokomunikačním řetězci máme dvě antény. Podle směru přenosu energie je možno antény rozdělit na anténu vysílací a přijímací. Úlohou vysílací antény je přeměna vysokofrekvenční energie na elektromagnetickou vlnu. VF energii anténě dodává vysílač, kde vlna vzniká a je zesílena na potřebný výkon. Naopak přijímací anténa plní úlohu opačnou. Přijímací anténa transformuje dopadající elektromagnetické vlny, vytvořené vysílačem, na vysokofrekvenční energii, která je poté přivedena na vstup přijímače, kde se s přijatým signálem dále pracuje. Např. rozhlasové vysílání - přijatá vysokofrekvenční energie se demoduluje a následně je signál přiveden na reproduktory.

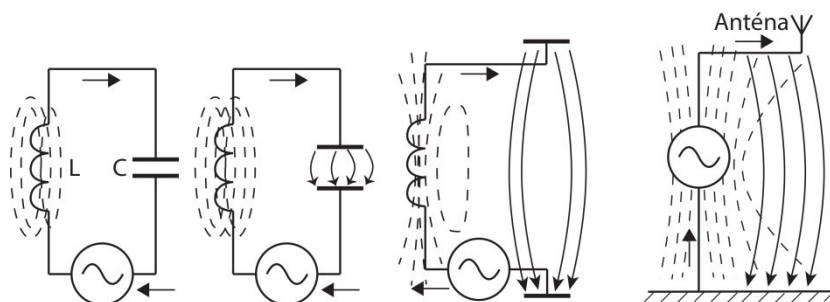
Vysílací a přijímací antény se mohou lišit požadavky a konstrukcí, ale řada parametrů je shodná. Mezi anténami platí princip reciprocity, tzn., že většina antén může vysílat i přijímat.

2.2 Jak anténa vyzařuje

Anténu si lze představit jako rezonanční obvod. Libovolně sestavený rezonanční obvod sestavený z cívky a kondenzátoru stimulovaný VF energií může vytvářet elektromagnetické

pole. Takto vytvořené elmag. pole je však málo účinné a působí na malou vzdálenost. V ohraničeném prostoru obvodu vzniká elektrické pole soustředěné mezi deskami kondenzátoru a magnetické pole kolem cívky. Pro rozšíření pole kondenzátoru je třeba zvýšit vzdálenost mezi deskami kondenzátoru (obrázek 2.2). Kapacita tohoto kondenzátoru by se snížila, ale zvětšením plochy desek může být kapacita zachována. Kondenzátor s velkoplošnými deskami může mít podobu dvou vodičů. Jeden umístěný v dostatečné výšce nad zemí a druhý je umístěn na povrchu nebo je s ním propojený. [2]

Takto sestavený kondenzátor tvoří otevřený rezonanční obvod (dipól). Vodiče otevřeného obvodu mají kromě kapacity také indukčnost.



Obrázek 2.2: Uzavřený a otevřený rezonanční obvod [2]

Otevřený obvod se nazývá anténou. Anténou se stává tehdy, pokud je jeho délka násobkem vlnové délky, pro kterou byl obvod naladěn. Kvalita antény jako zářiče se zvyšuje, pokud se její délka přibližuje 1/4 nebo 1/2 vlnové délky. V ostatních případech je velká část energie spotřebována na zahřívání vodičů, což je nežádoucí. [2]

Elektrické pole a magnetické pole vychází mimo hranice obvodu a v prostoru vytváří elektromagnetické pole. Je-li otevřený obvod nabuzen dostatečnou VF energií, je oddělena energie v podobě rádiových vln. Anténa nejen dobře vyzařuje energii, ale také ji přijímá. Indikuje ji v podobě VF proudů. [2]

Jak už bylo zmíněno, délka antény musí být násobkem vlnové délky, která je nepřímo úměrná kmitočtu a je dána vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

kde:

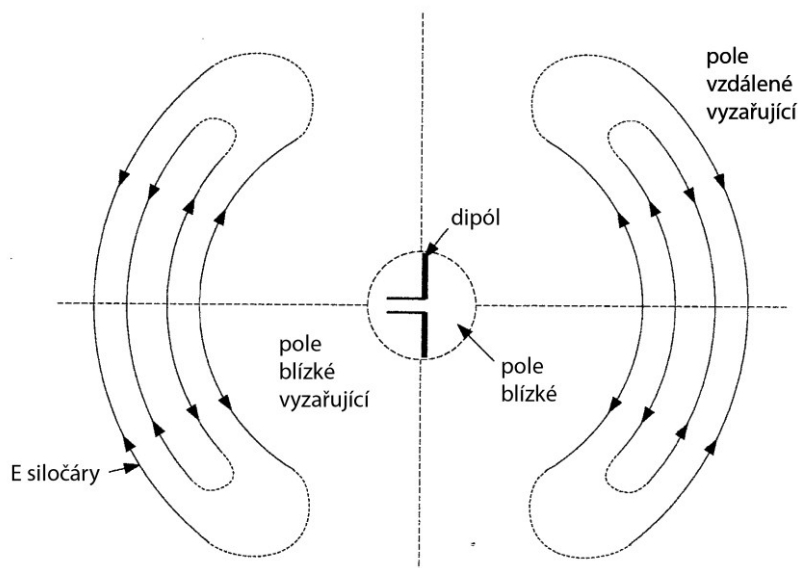
λ - vlnová délka [m]

c - rychlost světla ($3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$)

f - kmitočet [Hz]

Rozložení intenzity elmag. pole kolem antény je obecně funkcí vzdálenosti od antény a definují se tři základní oblasti [3]:

- Blízká reaktanční oblast (Rayleighova oblast)
- Blízká vyzařující oblast (Fresnelova oblast)
- Vzdálená vyzařující oblast (Fraunhoferova oblast)



Obrázek 2.3: Vyzařovací pole antény [3]

2.2.1 Blízká reaktanční oblast (Rayleighova oblast)

Jedná se o oblast, která obklopuje anténu. Vlastností tohoto pole je, že uchovává elmag. energii aniž by vyzařovalo energii, tj. Poytingův vektor¹ má v této oblasti v jedné periodě kmitu téměř nulovou střední hodnotu. Jalový výkon je v této oblasti větší než činný. [3]

Oblast je definovaná uvnitř kulové oblasti, kde poloměr koule R_1 je dán vztahem [4]:

$$R_1 = 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.2)$$

kde: λ je vlnová délka a D je největší rozměr antény.

2.2.2 Blízká vyzařující oblast (Fresnelova oblast)

Oblast prostoru mezi anténou a vzdáleným polem vyzařujícím. Prostorové rozložení vyzařované energie je závislé na vzdálenosti od antény. Oblast je dána poloměrem R_2 , který je dán vztahem [3]:

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3)$$

kde: D je největší rozměr antény.

¹ Poytingův vektor – více v kapitole 2.3.7

2.2.3 Vzdálená vyzařující oblast (Fraunhoferova oblast)

Oblast, za poloměrem R_2 (2.3), ve které je pole transversální (příčné), tedy obě složky jsou kolmé na směr šíření. Vzdálenost poloměru R_2 je často pokládána za nejkratší vzdálenost, ve které je možné měřit směrový diagram antény. [3][4]

2.3 Vlastnosti antén

Tak jako každý elektronický prvek má své typické vlastnosti a parametry, kterými se projevuje, tak i anténa má své specifika.

Vlastnosti antén můžeme rozdělit na dvě skupiny. A to skupinu, která popisuje parametry z hlediska jejího vnějšího chování vůči okolnímu prostoru. Tyto parametry jsou ovlivněny především geometrickým uspořádáním antény. Představiteli této skupiny jsou vyzařovací diagramy, polarizační vlastnosti a směrovost. Druhou skupinou parametrů jsou vlastnosti, které můžeme na anténě změřit jako na části obvodu. Tyto vlastnosti jsou kromě geometrického uspořádání závislé také na vlastnostech použitého materiálu. Jedná se o impedanční parametry. Obě skupiny mají společný základ v rozložení zdrojových proudů na anténě, proto je rozdělení do těchto dvou skupin částečně umělé. Více a podrobněji k vlastnostem antén v [3][4].

2.3.1 Rezonanční kmitočet a šířka pásma

Anténa je otevřený rezonanční obvod, ve kterém je indukčnost a kapacita zastoupena vodičem ($L \gg d$, kde L je délka vodiče a d je průměr drátu). Proto musí být délka vodiče násobkem vlnové délky (výpočet vlnové délky podle vzorce 2.1), neboli ekvivalentem obvodu RLC v rezonanci. Je důležité říct, že rezonanční kmitočet závisí na výšce umístění antény (kapacita mezi deskami „otevřeného“ kondenzátoru). Rezonanční kmitočet, v závislosti na kapacitě a indukčnosti, vyjadřuje rovnice [2]:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.4)$$

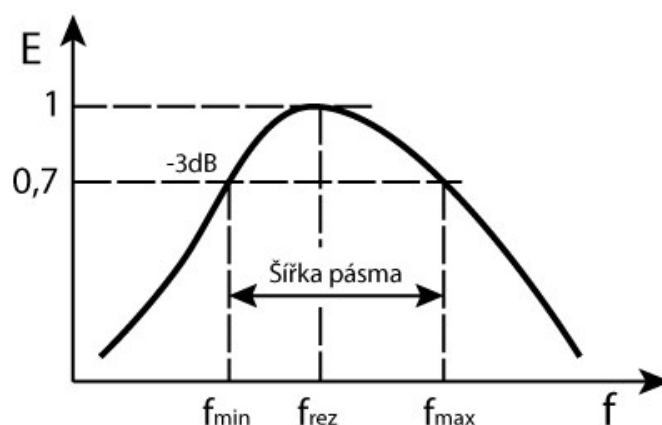
kde:

f - kmitočet [Hz]

L - indukčnost [H]

C - kapacita [F]

Anténa pracuje účinně pouze v určitém pásmu. V charakteristice napětí elmag. pole E (obrázek 2.4) můžeme určit dva kmitočty f_1 a f_2 , které určují šířku pásma. Tyto kmitočty se nacházejí v bodech, kdy úroveň napětí elmag. pole E poklesne o -3dB (tj. $E = 0,7E_{REZ}$). [2]



Obrázek 2.4: Graf určující šířku pásma[2]

2.3.2 Činitel stojatých vln

Činitel stojatých vln (ČSV) nebo někdy udávaný jako poměr stojatých vln (PSV) určuje jak je anténa přizpůsobena k napájecí a vysílači. Pokud se na vedení připojí všeobecná komplexní zátěž, které se skládá z odporu a reaktance, vytvoří se dva druhy postupných vln. Vlna přímá a odražená, která hraje důležitou roli, protože se vrací zpět do vysílače a může jej zničit.

Podrobněji se této problematice zabývá autor v literatuře [5]. Autor zde odvozuje rovnice pro maximální a minimální stojaté vlny, ze kterých poměrem dostaneme vztah určující již zmiňovaný ČSV, který je dán vztahem:

$$\text{ČSV} = \frac{1+K}{1-K} = \frac{Z_0}{Z_1} \quad (2.5)$$

kde:

K - hodnota činitele odrazu, $K = \sqrt{\frac{B}{F}}$ (B, F je výkon přenesený a odražený vlny)

Z_0 - impedance napáječe

Z_1 - impedance antény

Hodnota ČSV může nabývat hodnot 1 až ∞ . V případě, že je ČSV=1, tak na vedení nevzniká odražená vlna a celý výkon je vyzářen pomocí antény. V opačném případě, kdy je hodnota ČSV>1 vzniká na vedení odražená vlna, která se vrací zpět do vysílače. Pokud je hodnota odražené vlny příliš vysoká, může to mít fatální následky ve formě zničení vysílače. Na obrázku 1.5 je znázorněna závislost ČSV na poměru přeneseného a odraženého výkonu. Červená barva značí nepřijatelné hodnoty. Hraniční hodnota, která se bere jako uspokojivá je ČSV=3, kdy se odrazí 25% výkonu, ale i tahle hodnota už je poměrně velká. Proto se doporučuje vyladit anténu alespoň na hodnotu, která nepřekračuje 10% odraženého výkonu.

ČSV [-]	1,0	1,2	1,5	1,9	2,3	3,0	4,0	5,7	9,0	19,0	∞
Odražený výkon [%]	0	0,8	4	9	15	25	36	44	67	82	100

Obrázek 2.5: Závislost ČSV na poměru přeneseného a odraženého výkonu

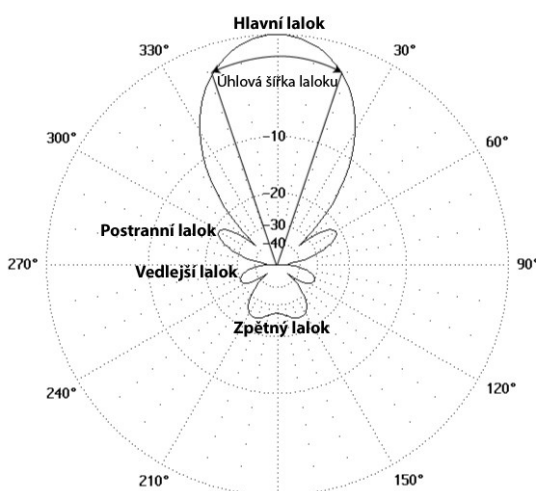
2.3.3 Směrová a vyzařovací charakteristika

Směrová a vyzařovací charakteristika je stejná veličina popisující směrové vlastnosti antén, ale liší se pouze v názvu podle použité antény. U přijímací antény se používá pojem směrová charakteristika, kdežto u vysílací antény charakteristika vyzařovací.

Antény jsou typické tím, že velikost přijaté či vyslané elmag. energie bývá odlišná v různých směrech. Směrová charakteristika se určuje pro vzdálenou zónu a je grafickým zobrazením normované vyzařovací funkce $F(\nu, \varphi)/F_{max}$. Protože je vyzařovací funkce závislá na dvou proměnných, vytvoří nám charakteristika 3D objekt, ale často se využívá zobrazení ve 2D ve formě vertikální a horizontální charakteristiky. Charakteristiku můžeme zakreslit dvěma způsoby. Pomocí polárních nebo kartézských souřadnic. Graf v polárních souřadnicích je názorný, ale v kartézských souřadnicích se lépe odečítají číselné hodnoty. [4]

Příklad směrové charakteristiky antény Yagi je uveden na obrázku 2.6, ve kterém vidíme 4 typy různých laloků:

- Hlavní lalok- v této oblasti anténa nejlépe přijímá energii. Pro vyjádření směrových vlastností se využívá pojmu úhlová šířka hlavního svazku. Tato šířka je definovaná směry, ve kterých je příjem menší o 3dB než ve směru maxima.
- Vedlejší lalok – je jakýkoliv svazek mimo hlavní
- Postranní lalok – první vedlejší svazek
- Zpětný lalok- je to svazek v protisměru hlavního svazku



Obrázek 2.6: Směrová charakteristika antény Yagi

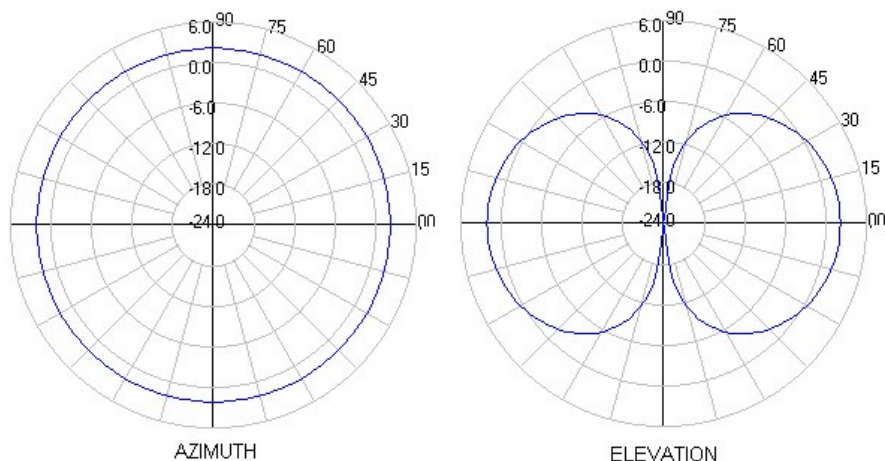
Z hlavního a zpětného svazku jsme také schopni určit další směrovou vlastnost - činitel zpětného příjmu/záření (ČZP), někdy označovaný také jako předozadní poměr (anglicky zkratka F/B). ČZP vyjadřuje, jakou mírou se zeslabí signál ve směru opačném, než ve kterém je maximální zisk.

2.3.4 Izotropický zářič

Jedná se o všesměrovou anténu, u které vyzařovací vlastnosti nezávisí na směru. Je pouze teoretická anténa-tzn. je fyzikálně nerealizovatelná, ale používá se jako reference k popisu vlastností reálných antén, např. k zisku antény udávané v jednotce *dBi*. Její směrovou charakteristikou je kulová plocha. [4]

2.3.5 Směrový zářič

U směrového zářiče vyzařovací charakteristika závisí na konkrétním směru vysílání nebo přijímání energie. Zvláštním případem jsou v praxi směrové antény, tzv. omnidirectional, které mají směrové vlastnosti pouze v jedné rovině a v druhé rovině jsou všesměrové. Typickým příkladem je elementární nebo půlvlnný dipól, jehož vyzařovací charakteristika je na obrázku 2.7. Jedná se o charakteristiku vertikálního půlvlnného dipólu, který má v horizontální rovině všesměrovou charakteristiku, ale v rovině vertikální už charakteristika všesměrová není. Ta se mění podle výšky umístění dipólu nad zemí. [4]



Obrázek 2.7: Vyzařovací charakteristika půlvlnného dipólu

2.3.6 Vstupní impedance

Vstupní impedance je definována na napájecích svorkách antény poměrem napětí a proudu. Podle náhradního obvodu antény (obrázek 2.8) můžeme napsat [4]:

$$Z_A = R_A + jX_A = \frac{U_{vst}}{I_{vst}} \quad (2.6)$$

kde:

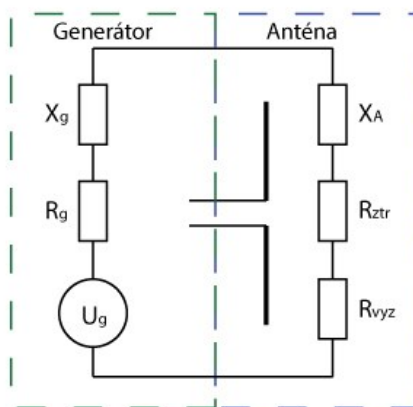
Z_A - vstupní impedance antény (vztaženo k místu napájení)

$$R_A = R_{VYZ} + R_{ZTR} \quad (2.7)$$

kde:

R_{VYZ} - vyzařovací odpor antény

R_{ZTR} - ztrátový odpor antény



Obrázek 2.8: Náhradní obvod antény[4]

Vyzařovací odpor R_{ZTR} je vztažen k amplitudě proudu, proto vztah 2.6 má omezenou platnost z důvodu vztažení vstupní impedance k místu napájení, které nemusí být v amplitudě proudu. Toto použití vzorce platí např. u půlvlnného dipólu. [4]

2.3.7 Výkonová hustota vyzařovaného pole

Výkonovou hustotu představuje Poyntingův vektor, jenž jeho okamžitá hodnota je definována vektorovým součinem [4]:

$$s(t) = e \times h \quad (2.8)$$

kde:

s - okamžitá hodnota Poyntingova vektoru [W/m^2]

e - okamžitá hodnota intenzity elektrického pole [V/m]

h - okamžitá hodnota intenzity magnetického pole [A/m]

2.3.8 Polarizační vlastnosti antén

Elektromagnetická vlna se skládá z elektrického a magnetického pole, které jsou navzájem kolmé. Pod pojmem polarizační vlastnosti antény rozumíme prostorovou orientaci elektrického pole. Základní polarizace vzhledem k zemskému povrchu je horizontální nebo vertikální. Vertikálně polarizovaná vlna je ta, jejíž siločáry jsou kolmé k povrchu země. Antény, které jsou zkonstruovány tak, aby vyzařovaly či přijímaly vertikální nebo horizontální vlny se nazývají antény s lineárními polarizačními vlastnostmi. Dalším typem jsou antény s

eliptickými polarizačními vlastnostmi, ve kterých je elmag. pole složeno ze dvou navzájem kolmých složek s určitým fázovým posunem mezi nimi. [2][6]

Na straně vysílací a přijímací by měli být stejně polarizované antény, jinak nastává tzv. polarizační nepřízpůsobení a vznikají polarizační ztráty.[4]

2.3.9 Účinnost antény

Celkový výkon vyzářený anténou a výkon na vstupu bezztrátové antény je dán vztahem [4]:

$$P_{VYZ} = \eta P_{VST} \quad (2.9)$$

kde:

η - bezrozměrná celková účinnost antény

P_{VYZ} - vyzářený výkon

P_{VST} - vstupní výkon

Celková účinnost η v sobě zahrnuje ztráty na vstupu a uvnitř anténní struktury, což jsou:

- η_r - ztráty odrazem výkonu způsobená nepřízpůsobením napájecího vedení a antény
- η_c - ztráty v důsledku konečné vodivosti kovových částí antény
- η_d - ztráty v dielektriku

Vyzařovací účinnost antény je definovaná vztahem:

$$\eta_{VYZ} = \frac{R_{VYZ}}{R_{ZTR} + R_{VYZ}} \quad (2.10)$$

2.3.10 Směrovost

Směrovost D je poměr intenzity vyzařování U v daném směru k intenzitě vyzařování referenční antény U_0 . Jako referenční antény se mohou použít tři typy. Nejčastěji použitou referenční anténou je izotropický zářič. Dále se využívá jako reference elementární dipól nebo i dipól půlvlnný. Je nutné vždy uvádět, k jaké referenční anténě směrovost určujeme, protože mezi těmito zmíněnými anténami je nutný přepočít. V případě přepočtu z izotropické antény na elementární dipól musíme odečíst 1,76dB a v případě půlvlnného dipólu odečteme hodnotu 2,15dB. [1]

2.3.11 Zisk

Zisk antény G je dán poměrem vysílaného výkonu k výkonu dodávanému na vstup antény. U zisku se zahrnují směrové vlastnosti a účinnost antény. Ve většině případů se zisk bere pro směr maxima vyzařování. Tento zisk je tzv. absolutní zisk. Častěji se využívá tzv. relativní zisk, který udává poměr výkonového zisku zkoumané antény k výkonovému zisku referenční antény.[1][2]

Zisk se udává v decibelech poměrem intenzity pole E nebo poměrem výkonu P :

$$G = 20 \log \frac{E_1}{E_0} = 10 \log \frac{P_1}{P_0} \quad (2.11)$$

Při určení zisku musíme určit, vzhledem k jaké referenční anténě zisk určujeme. Opět můžeme brát jako referenci izotropický zářič a elementární či půlvlnný dipól. Platí zde stejné přepočty jako u směrovosti. Příklad výpočtu, pokud známe zisk vůči půlvlnnému dipólu a chceme znát zisk vůči izotropnímu zářiči:

$$G [dBi] = G [dBd] + 2,15 [dB] \quad (2.12)$$

Na základě těchto definovaných zisků se podle literatury [1] definují různými způsoby vyzářené výkony:

- EIRP - ekvivalentní izotropický vyzářený výkon - je součin výkonu na anténě a jejího zisku vztaženému k izotropickému zářiči
- ERP - ekvivalentní vyzářený výkon - je součin výkonu na anténě a jejího zisku vztaženému k půlvlnnému dipólu
- EMRP - ekvivalentní vyzářený výkon vztažený k elementárnímu dipólu

Jak již bylo zmíněno, zisk je svázán se směrovostí a účinností a můžeme jej vypočítat podle vztahu[1]:

$$G = \eta D_{dB} \quad (2.13)$$

kde:

D - směrovost

η - účinnost

2.4 Základní typy antén

V anténní technice se objevuje mnoho druhů antén, které se dají rozdělit dle několika kritérií. Mezi nejtypičtější rozdělení patří podle směrových charakteristik antén. Takovéto antény se dají rozdělit na všesměrové a směrové. Dalším rozdělením je například podle druhu zářiče (liniové a plošné antény) nebo šířky pracovního pásma, kdy anténa může být naladěna na jeden konkrétní kmitočet (tzv. úzkopásmové antény) nebo pro určité pásmo kmitočtů (tzv. širokopásmové antény).

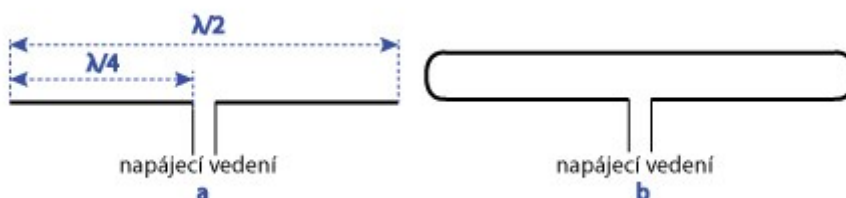
Nyní v této kapitole budou popsány příklady použití a vlastnosti různých typů antén dle rozdělení. Každá anténa může spadat do více skupin, ale pro skupinu uvedu jen nějaký typický příklad. Například půlvlnný dipól můžeme zařadit do skupiny všesměrových, drátových a úzkopásmových antén. Více informací o rozdělení antén a jejich typů v [1][12].

2.4.1 Liniové antény

Liniové nebo také označované jako drátové. Používají se pro nižší frekvence, ale i pro frekvence řádově do GHz. Zářičem jsou zde vodiče různým formátů ve formě drátů či trubek.

Půlvlnný dipól - Jedná se o základní typ rezonanční antény. Zářič, o délce $\lambda/2$, se chová jako rezonanční obvod, jehož rezonanční kmitočet ladíme délkou zářiče. Při rezonanci vykazuje půlvlnný dipól čistě ohmickou impedanci a mimo rezonanci vykazuje impedanci komplexní. Zářič je sestaven ze dvou stejně dlouhých ramen o délce $\lambda/4$. Jedná se o symetrickou anténu, a proto musí být na ramena dipólu přivedeno symetrické napájení. Pokud chceme dipól připojit pomocí koaxiálního kabelu, je nutné použít tzv. symetrizační člen². [7][3]

Jedná se o všesměrovou anténu, jejíž vyzařovací charakteristika je zobrazena v kapitole 2.3.5 na obrázku 2.7. Půlvlnný dipól se využívá pro stavbu složitějších antén nebo může být použit jako samostatná anténa, avšak ne s moc dobrými parametry. Výhodou této antény je její jednoduchá konstrukce, která se dá poměrně lehko vyrobit. Naopak nevýhoda je její úzkopásmovost, která se dá zlepšit použitím tzv. skládaného dipólu.



Obrázek 2.9: a) půlvlnný dipól b) skládaný dipól

Skládaný dipól je anténa složená ze dvou paralelních půlvlnných dipólů, které jsou na svých koncích spojeny. Jeden dipól je napájený a druhý je ve svém středu spojen nakrátko. Od klasického půlvlnného dipólu se liší ve výstupní impedanci a také o něco větší širokopásmovosti. Skládáný dipól se využívá v mnoha případech jako napájecí prvek anténních řad (např. anténa Yagi). [3]

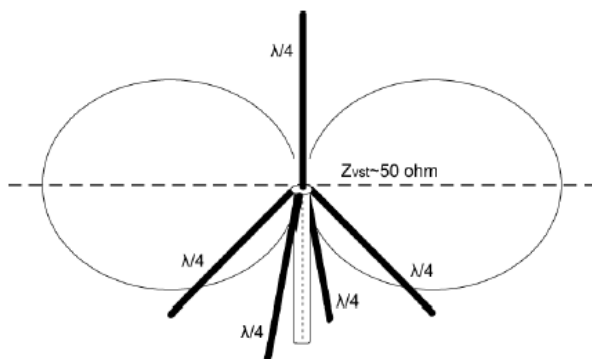
2.4.2 Všesměrové antény

Jsou to antény, které mají všesměrový charakter vyzařovací charakteristiky, tzn. jejich charakteristika má tvar kruhu nebo mírnou elipsu a pokrývá tak území 360° , ale pouze v jedné rovině. Většina těchto antén bývá vertikálních, které jsou všesměrové v horizontální rovině a v rovině vertikální jsou směrové.

Tyto antény jsou využívány ve velkém množství. Jelikož pokrývají 360° , jsou vhodné například jako přístupové body WiFi či jiných technologií. Dalším typickým využitím všesměrových antén, se kterým se každodenně setkáváme, jsou antény automobilů. Patří sem zejména prutové antény či „pendreky“.

² Symetrizační člen – přizpůsobovací člen mezi souměrným a nesouměrným vedením, jehož účelem je zabránit vzniku nesouměrných proudů na napájecí antény [3]

Anténa GP - Je to vertikální všesměrová anténa s rezonanční délkou $\lambda/4$. Anténa se skládá ze zářiče a protivah. Zářič i protiváhy mají elektrickou délku čtvrtiny vlny. GP anténa má nízký vstupní odpor a správným skloněním protivah, pod úhlem asi 135° , je velikost vstupního odporu rovna 50Ω . To umožňuje, vzhledem k nesouměrné povaze, připojení koaxiálního kabelu s impedancí 50Ω bez jakéhokoliv použití přizpůsobovacího členu na rozdíl od symetrických antén jako je půlvlnný dipól, který vyžaduje symetrické napájení.[8]



Obrázek 2.10: GP anténa[8]

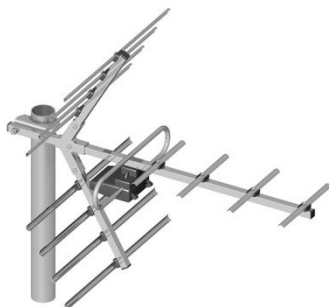
2.4.3 Směrové antény

Opakem všesměrových antén jsou antény směrové. Jsou to ziskové antény, jejichž vyzářovací diagram je směrový. Tudiž vysílají či přijímají signál pouze v určitých směrech, což má za následek, že mají větší dosah než antény všesměrové. Příkladem může být televizní vysílání DVB-T, kdy v okolí vysílače může stačit obyčejná všesměrová anténa, kdežto v místech daleko od vysílače je signál slabší a jsme nuceni použít anténu směrovou, která nám umožní příjem i na delší vzdálenost v přijatelné kvalitě signálu. Typickými představiteli směrových antén jsou antény Yagi a reflektorové antény.

Yagi-Uda – směrový anténní systém složený ze tří prvků. Jeden prvek je aktivní a zbylé prvky jsou pasivní. Aktivní prvek tvoří symetrický dipól. Často se využívá dipól skládaný. Pasivní prvky jsou tvořeny dipóly, které nemají napájecí šterbinu. Mezi tyto prvky patří reflektor a direktory. Reflektor bývá umístěn za zářičem ve vzdálenosti zhruba $0,25\lambda$, což způsobuje, že se v něm indukují VF proudy v protifázi a elmag. energie se tak odráží směrem k soustavě direktorů. Úkolem reflektoru je tedy soustředit energii vyzářenou zářičem podél řady direktorů, kde se pak šíří jako povrchová vlna. Dle typu reflektoru se mění hodnota předozadního poměru. Reflektor může být tvořený jedním prvkem, ale také řadou prvků, které mohou vytvořit tzv. úhlový reflektor. Dalšími pasivními prvky jsou direktory, které jsou umístěné před zářičem. Způsobují to, že soustřeďují energii k zářiči v případě přijímací antény nebo koncentrují pole vyzářované zářičem do prostoru. Směrová charakteristika je zobrazena v kapitole 2.3.3 (obrázek 2.6).[3][9]

Podle počtu pasivních prvků se mění také zisk antény. Yagiho anténa může být navržena jako víceprvková, ale návrh je složitý. Ve velkém množství je tato anténa využívána

v pásmu pro televizní vysílání DVB-T , ale bývá také používána pro spoje bod-bod ve WiFi technice.



Obrázek 2.11: *šesti prvková Yagi anténa[11]*

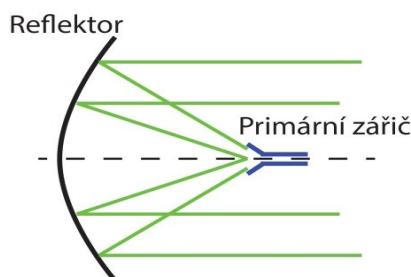
2.4.4 Širokopásmové antény

Jsou typické tím, že v poměrně širokém kmitočtovém pásmu mění své elektrické vlastnosti jen nepatrně. Určitou modifikací se mohou získat širokopásmové antény i z úzkopásmových antén, jako třeba již zmiňovaný složený dipól. Můžeme sem zařadit např. anténu spirálovou nebo šroubovicovou.[3]

2.4.5 Plošné antény

Tyto antény se využívají u vyšších frekvencí, především v pásmu centimetrových vln. Antény vyzařují z výstupní plochy tzv. apertury. Například vlnovodné ústí, trychtýře různých tvarů či flíčkové antény, které vyzařují také z plochy. Nejrozšířenějším typem tohoto druhu antén jsou reflektorové antény. [1]

Reflektorová anténa - je tvořena zářičem a jednoho nebo více vhodně tvarovaných odrazných ploch (reflektorů). Reflektory využívají různé plochy rovinné i zakřivené, nejčastěji tvar paraboloidu. Základním principem reflektoru je nasměrovat vlny z primárního zářiče do volného prostoru a vytvořit v prostoru šíření rovinnou vlnu.[3]



Obrázek 2.12: *Reflektorová anténa s parabolickým reflektorem*

3 Návrh, simulace a měření antén

Cílem této práce je navrhnout typy běžně používaných všesměrových antén, u kterých se s přidáním kovovým stíněním či reflektorem zlepši rádiový spoj. Žijeme v době, kdy technika je důležitým faktorem a s tím přináší řadu problémů. Stále více se využívají bezdrátové přenosy, které využívají určité frekvenční spektrum. Často se tak můžeme dostat do situace, kdy nám naše zvolené pásmo mohou rušit okolní signály od vysílačů a jiné bezdrátové techniky. Popřípadě máme slabý signál a jsme pod prahem citlivosti, kdy přijímač je schopný signál zpracovat. Takovéto problémy můžeme vyřešit různými způsoby. Například změnou přijímače, či změnou za směrovou anténu, která má oproti všesměrové anténě v určitém směru větší zisk. Ovšem všechno dnes stojí peníze a problém můžeme zkusit vyřešit přidáním stínění či reflektoru, který by měl zvýšit směrovost a tím pádem také zisk. Také může příznivě ovlivnit odstup signál/šum. Reflektor tak může mít za následek zlepšení rádiového spoje.

Pro měření rádiového spoje s přidáním reflektorem k anténě jsou provedeny dva druhy měření, díky kterým budou hodnoceny závislosti, jak se změní parametry rádiového spoje. Je měřena reálná frekvenční charakteristika a směrový diagram.

Z frekvenční charakteristiky lze dobře vidět, jak závisí výkonová úroveň na frekvenci. Anténa je naladěná na určité frekvenční pásmo a v tomto pásmu nemusí být vysílaná či přijímaná výkonová úroveň konstantní, ale mění se v závislosti na dané frekvenci. Pro danou anténu je zvolena vždy určitá část frekvenčního pásma, ve kterém je používána, a z výsledného grafu lze vidět, co způsobí přidání reflektoru s reálnou frekvenční charakteristikou všesměrové antény.

Směrový diagram je naopak měřen na určité frekvenci signálu, který je vysílán pomocí generátoru. Z tohoto diagramu je vidět změna směrové charakteristiky, která vznikne po přidání reflektoru.

Pro tyto měření jsem použil následující přístroje a vybavení:

- Signálový generátor R&S SMB 100A
- Přenosný spektrální/skalární analyzátor R&S FSH8
- Prodlužovací koaxiální kabely
- Antény: pendreková, magnetická a půlvlnný dipól

Měření antén by nejlépe mělo probíhat v bezodrazové komoře, aby se do měření nevnášely chyby, které mohou nastat blízkostí vodivých předmětů či odrazů elmag. vln od okolních budov. Tato bezodrazová komora bohužel není na VŠB-TUO k dispozici a proto měření probíhalo ve volném prostoru před budovou N.

3.1 Reflektor a stínění

Reflektor je pasivní prvek antény, který způsobuje soustředění vyzařované vlny či přijímané vlny směrem k aktivnímu prvku (napáječi). Je umístěn za aktivním prvkem v takové

vzdálenosti, ve které je odražená vlna směřující k aktivnímu prvku ve fázi s vlnou přímou a tím se zesílí. Tato vzdálenost je podle [9] $0,25\lambda$. Naopak při nevhodném umístění reflektoru za zářič by mohly být vlny v protifázi a výsledná vlna by byla zeslabena či úplně vyrušena. Další úlohou reflektoru je odstínění prostoru za anténou, což ovlivňuje ČZP (popsaný v kapitole 2.3.3).

Pojem reflektor a stínění je možno brát jako jedno a totéž. U některých typů antén se anténa navrhuje spolu s reflektorem, který je tak konstruován podle přesných rozměrů vycházejících z frekvence, pro kterou je anténa určena. Naopak jsou antény, kde reflektor není použit. Jedná se především o všesměrové antény. Kovové stínění přidané k takovéto anténě by mělo s anténou spolupůsobit a ovlivnit ji částečně tak jako reflektor u antény, která je s ním navrhována.

V anténní technice se používají reflektory různé konstrukce. Od jednoduchých reflektorů tvořené vodivou tyčí či řady takovýchto tyčí, které můžou vytvořit nějakou strukturu. Typickým příkladem je u televizních antén YAGI tzv. úhlový reflektor nebo u patrových soustav, označované jako matrace či „polské“ síto, mříž složenou z vodivých drátů. Dalším typem reflektoru jsou plošné reflektory různých tvarů. Nejběžnější typ plošného reflektoru je parabolický reflektor, jenž se využívá u antén pro příjem televizního vysílání DVB-S.

3.2 Volba antén

Mezi nepoužívanější všesměrové antény jsou bezpochyby tzv. „pendreký“, které nalezneme na řadě zařízení. Většina z nich funguje na principu rukávového dipólu či antény GP. Proto mezi anténami, které jsou měřeny je pendreková anténa a také magnetická anténa pro pásmo GSM. Tyto antény jsou vertikální a všesměrový diagram mají v horizontální rovině. Antény jsou k dispozici v laboratoři N204. Další měřenou anténou je horizontální dipól. Ten však nemá všesměrovou charakteristiku v horizontální rovině, ale v rovině vertikální. Půlvlnný dipól byl vybrán, protože jej lze jednoduše nasimulovat. Cílem je tak porovnání výsledků simulace s praktickým měřením. Tyto dipóly nejsou v laboratoři dostupné, a proto byly zkonstruovány dva laditelné dipóly složené z teleskopických antén.



Obrázek 3.1: *Pendreková anténa (vlevo) a magnetická anténa (vpravo)*

3.3 Simulace antén v programu 4NEC2

Pro simulace byl vybrán nástroj pro modelování antén 4NEC2. Přestože je tento nástroj freeware, umí celou řadu věcí. Příkladem, který je využit při tvorbě, je vytvoření ploch, který konkurenční freewarový nástroj MMANA neumí a proto je využíván nástroj 4NEC2. Protože jako reflektor je použit i plech, je využívána část programu Geometry Builder, ve kterém lze vytvářet různé typy ploch.

Antény se v těchto typech nástrojů simulují tak, že se zadávají souřadnice vodičů (X,Y,Z), ze kterých je anténa složena. Po navrhnutí geometrického tvaru se umístí zdroj, zadá frekvence a může být proveden výpočet, jehož výsledkem je především směrový diagram, zisk či předpokládaná hodnota ČSV a jiné hodnoty. Směrový diagram je možné zobrazit ve 2D formou dvou rovin či názorným 3D diagramem.

3.3.1 Horizontální půlvlnný dipól

Pro tuhle anténu jsou použity dva typy reflektoru. Cílem je tak porovnat, jak i typ použitého reflektoru ovlivní výsledné charakteristiky. Konkrétně reflektor z jedné vodivé tyče a rovinný reflektor z hliníkového. Simulace je provedena třikrát. Pro dipól bez reflektoru a dipól s jednotlivým typem reflektoru.

Pro zadání geometrických údajů této antény je třeba vypočítat její rozměry pro konkrétní frekvenci. Pro frekvenci 550 MHz je výpočet následující:

Vlnová délka:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{550 \cdot 10^6} = 0,54 \text{ m} \quad (3.1)$$

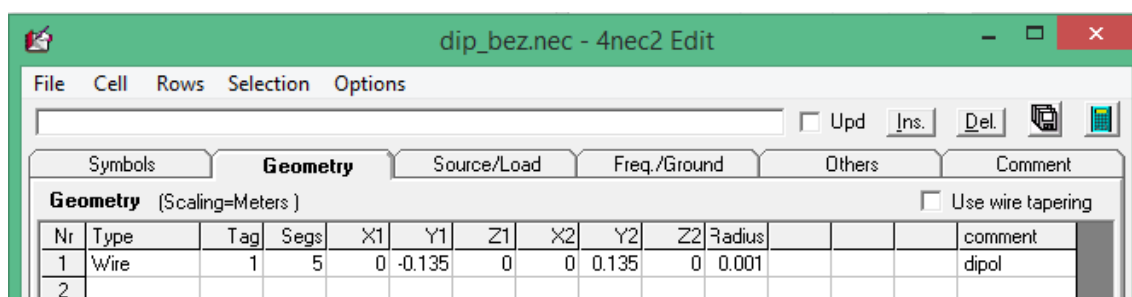
Délka půlvlnného dipólu:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{0,54}{2} = 0,27 \text{ m} \quad (3.2)$$

Vzdálenost reflektoru:

$$s = \frac{\lambda}{4} = \frac{0,54}{4} = 0,135 \text{ m} \quad (3.3)$$

Tyto údaje stačí pro namodelování půlvlnného dipólu pomocí NEC editoru vložení souřadnic. Ukázka zadání souřadnic takového dipólu je na následujícím obrázku.



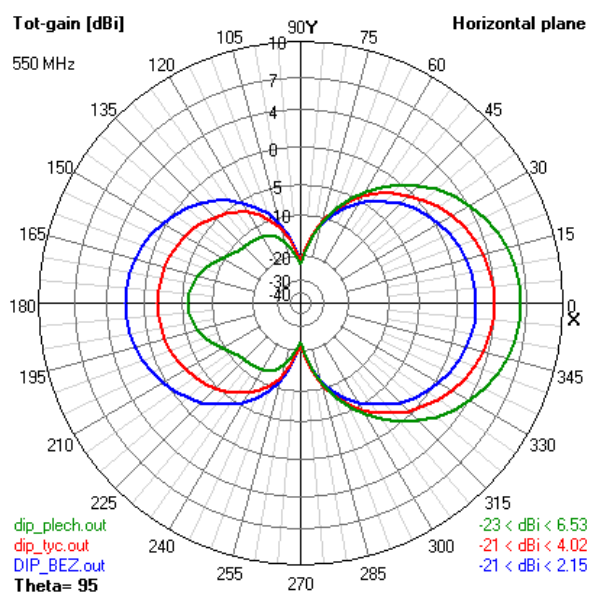
Obrázek 3.2: Zadání souřadnic pro simulaci antény v programu 4NEC2

V tomto simulačním programu je možno uložit výstupní soubory dané simulace a poté je otevřít a porovnat s ostatními výstupními soubory do jednoho grafu. Výsledné směrové charakteristiky ze simulace jsou v grafu na obrázku 3.3 (jedná se o horizontální rovinu, která je měřena). Program také nabízí možnost si u dané charakteristiky zobrazit informace týkající se zisku antény, předozadního poměru či úhlovou šířku laloku. Srovnání těchto parametrů je v následující tabulce.

Tabulka 3.1: *Simulované výsledky parametrů dipólu s jednotlivými reflektory*

Typ reflektoru	Zisk [dBi]	ČZP [dB]	Úhlová šířka [°]
bez reflektoru	2,15	0,07	80
vodivá tyč	4,02	5,7	70
plech	6,53	12,5	70

Z výsledku simulace je patrné, že lepší výsledky by měly nastat u rovinného reflektoru z plechu. Ten má podle simulace o 2,51 dBi větší zisk než reflektor z vodivé tyče a poměrně velký rozdíl činitele zpětného příjmu. To můžeme pozorovat i na směrových charakteristikách, kde je viditelné, že s plechem (zelený graf) má v zadním směru poměrně menší lalok než s vodivou tyčí (červený graf). Modrý graf je půlvlnný dipól bez přidaného reflektoru. Snímky, jak vypadá geometrie antény, jsou uvedeny v příloze.

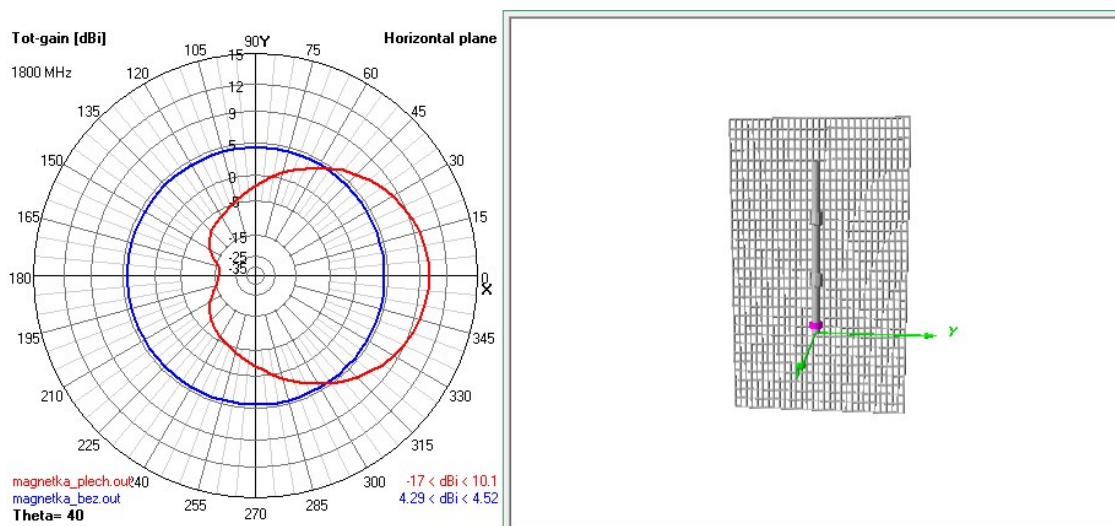


Obrázek 3.3: *Simulované směrové charakteristiky (horizontální rovina)*

3.3.2 Vertikální anténa s rovinným reflektorem

Jelikož není známa přesná struktura použité magnetické antény, nemůže být přesně nasimulována. Proto jsem se rozhodl pro ilustraci nasimulovat vertikální zářič, aby byl předpoklad, jak se změní charakteristika zářiče, který má v horizontální rovině charakteristiku všesměrovou.

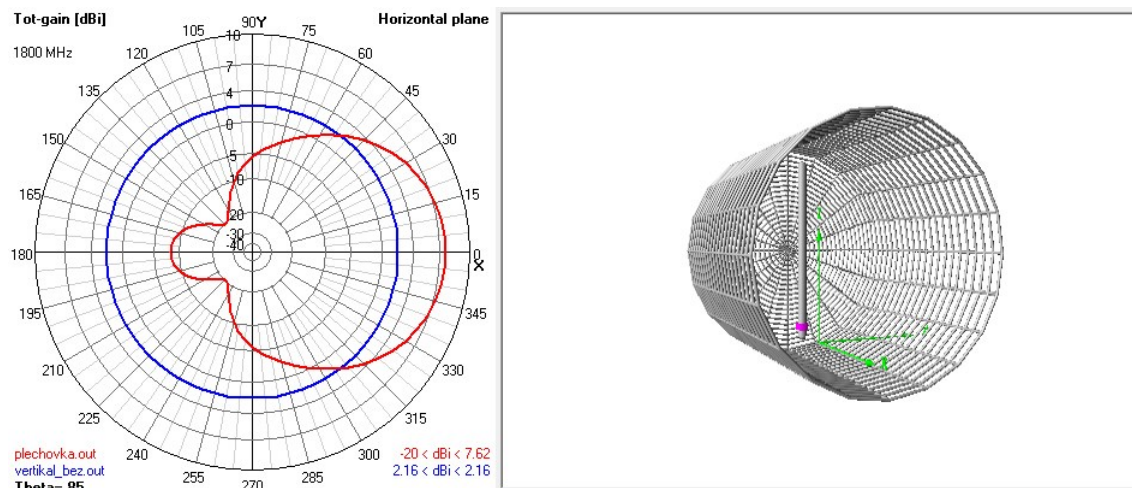
Jako vertikální zářič je v simulaci použita kolineární anténa, která by měla být i strukturou použité magnetické antény. Jako reflektor je použit rovinný reflektor. Výsledky simulace jsou na následujícím obrázku, který obsahuje dva grafy. Modrá barva představuje vertikální zářič bez reflektoru a červenou barvou je anténa s přidaným reflektorem. Opět je zde patrná změna jak zisku, tak činitele zpětného příjmu, který je poměrně velký. Velikost ČZP může příznivě ovlivnit kvalitu signálu v místech, kde nastává vícenásobný příjem. Tím, že budeme mít anténu, která má velký ČZP můžeme tento vícenásobný příjem částečně eliminovat.



Obrázek 3.4: Simulace vertikální antény s rovinným reflektorem a její směrová charakteristika (horizontální rovina)

3.3.3 Vertikální anténa v plechovce

Pro tuto simulaci je použita vertikální dipólová anténa. Pro vytvoření struktury plechovky je využit nástroj Geometry Builder. Pomocí tohoto nástroje je vytvořen uzavřený válec a ten je následně upraven tak, aby jedna podstava byla otevřená a struktura tak představovala plechovku. Jak vypadá geometrický návrh v 3D a výsledná směrová charakteristika je na následujícím obrázku 3.5. Modrá charakteristika je vertikální anténa bez reflektoru a červená představuje vertikální anténu, která je umístěná uvnitř válce (plechovky).

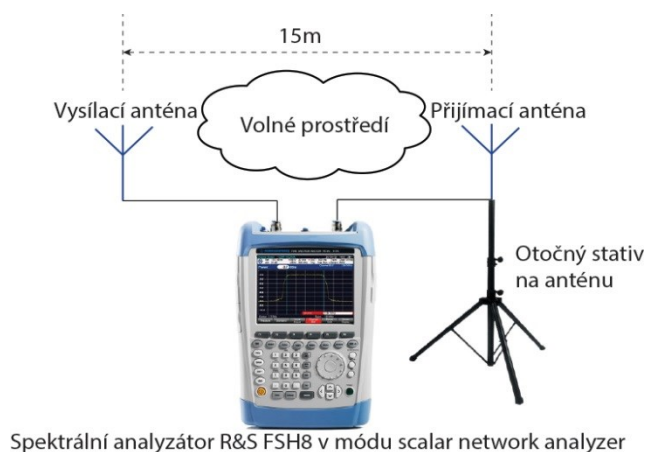


Obrázek 3.5: Simulace vertikální antény umístěné v plechovce a její směrová charakteristika (horizontální rovina)

3.4 Postup a výsledky měření reálné frekvenční charakteristiky

Pro měření reálné frekvenční charakteristiky lze využít funkci spektrálního analyzátoru scalar network analyzer, která využívá interní generátor. Toho lze využít při měření reálné frekvenční charakteristiky, která je měřena způsobem podle schématu na obrázku 3.6.

V prvním kroku je připojena vysílací a přijímací anténa ke spektrálnímu analyzátoru. Měřená anténa, ke které bude přidán reflektor, je zapojena jako anténa přijímací a proto je připojena ke konektoru RF IN spektrálního analyzátoru. Na konektor tracking generator output je připojená anténa vysílací, která musí být stejná jako přijímací. Druhým krokem je nastavení měřicího přístroje do módu scalar network analyzer. Tím se dostaneme do módu, kdy je interním generátorem spektrálního analyzátoru generován signál od počáteční frekvence po konečnou. Tyto frekvence jsou nastaveny na část pásma dané antény, na kterou jsou zkonstruovány. Těmito kroky je pracoviště pro měření nachystané a nyní může začít samotné měření.

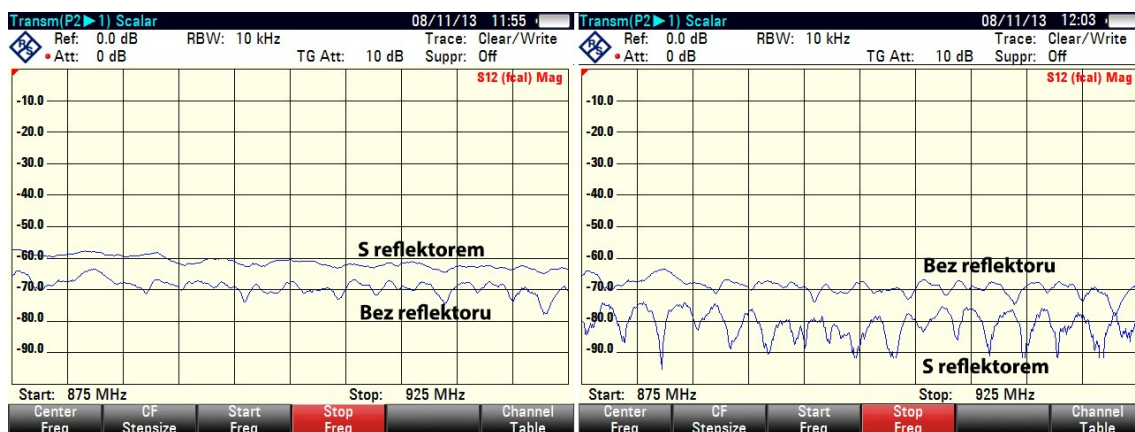


Obrázek 3.6: Schéma měřicího pracoviště pro měření reálné frekvenční charakteristiky

Vysílací anténa je pevně umístěna a přijímací anténa je umístěna na otočný stativ, aby bylo možno anténou otáčet v její ose a zachytit tak hlavní směry. Především přední směr, kdy anténa s reflektorem je čelem k vysílací anténě a zadní směr, kdy je k vysílací anténě blíže reflektor a anténa je tak odstíněna. Nejprve je proveden snímek s anténou bez přidaného reflektoru a poté je přidán k anténě daný reflektor a jsou udělány snímky pro zmíněné směry. Po naměření byly staženy jednotlivé snímky z přístroje a pro srovnání vlivu přidaného reflektoru jsou snímky spojeny pro daný směr do jednoho, aby bylo patrné, jak je změněná výsledná charakteristika.

3.4.1 Magnetická anténa pro GSM

Na níže uvedených obrázcích je zachycena magnetická anténa pro pásmo GSM. Je měřeno pásmo frekvence 875-925 MHz. V tomto frekvenčním rozmezí je zahrnuté pásmo pro uplink³ GSM900. Pásmo pro downlink⁴ do měření nebyl zahrnut z důvodu změn, které by nastaly vlivem okolních zařízení BTS⁵. Ty by do grafu vnášely určité špičky, čemuž jsem se chtěl vyvarovat a zahrnout do tohoto měření pouze signál, který je generován vnitřním generátorem spektrálního analyzátoru.



Obrázek 3.7: Přední směr (vlevo) a zadní směr (vpravo) magnetické antény bez a s reflektorem

Na obrázku 3.7 vlevo je zachycen směr, kdy je anténa s reflektorem namířená čelem k vysílací anténě. Je vidět, že rádiový spoj se zlepšil v celém měřeném pásmu. Místy je vidět dosažení zlepšení úrovně signálu až o 10 dB. Lze pozorovat, že bez reflektoru byly místy strmé poklesy úrovně. Ty po přidání reflektoru nenastaly a úroveň signálu je vyrovnanější. Směr kdy je anténa otočena o 180°, takže reflektor odstíňuje měřenou anténu od vysílací, je na obrázku 3.7 vpravo. Zde je vidět jak reflektor odstíní prostor za anténou a způsobí tak snížení úrovně.

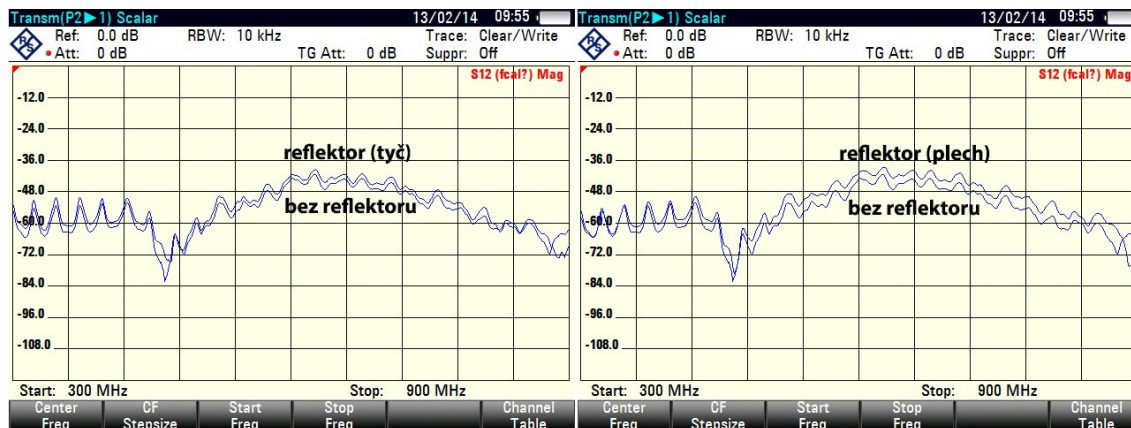
³ Uplink – frekvenční pásmo pro směr od účastníka k BTS (EGSM 880 – 915 MHz)

⁴ Downlink – frekvenční pásmo pro směr od BTS k účastníkovi (EGSM 925 – 960 MHz)

⁵ BTS – základnová stanice systému GSM

3.4.2 Horizontální půlvlnný dipól

Na následujícím obrázku 3.8 jsou reálné frekvenční charakteristiky horizontálního půlvlnného dipólu se dvěma typy reflektoru v předním směru. Dipól je naladěn na frekvenci 540 MHz, ale pro názornost byla charakteristika měřena na poměrně velké šířce pásma.

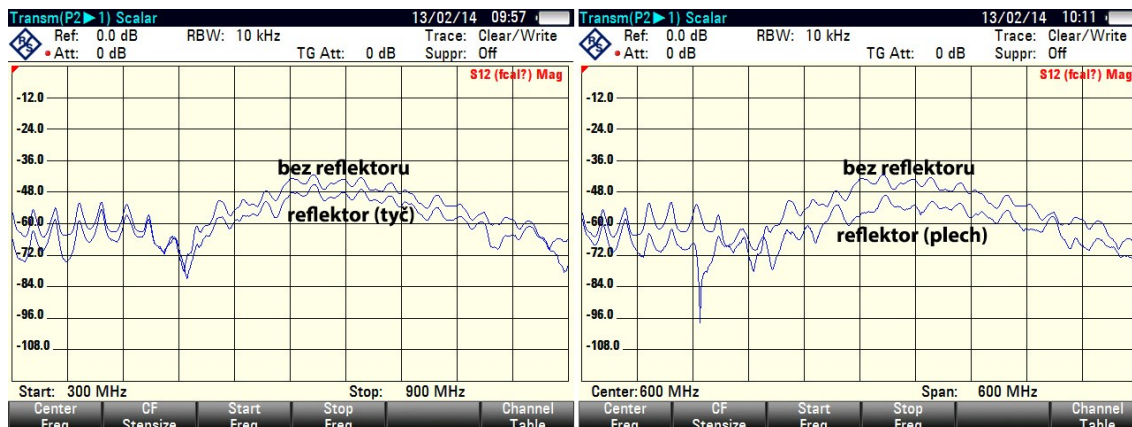


Obrázek 3.8: Přední směr dipólu bez reflektoru a s reflektorem

U obou typů reflektoru je vidět, že kolem oblasti kde je anténa naladěna, došlo ke zvýšení úrovně signálu. Křivka bez reflektoru a s reflektorem je tvarově téměř identická, ale po přidání reflektoru dochází ke zlepšení rádiového spoje mimo místa 300–420 MHz a kolem 900 MHz. To je dáno tím, že reflektor je umístěn do vzdálenosti $\lambda/4$ pro 540 MHz. Tudiž pro nižší a vyšší frekvence není vzdálenost reflektoru od antény $\lambda/4$, ale hodnota se mění, což může mít za následek to, že odražená vlna je v protifázi a výsledný signál je tak zeslaben.

Při srovnání reflektoru z vodivé tyče a reflektoru z plechu je patrné, že rovinný reflektor z plechu způsobil větší zvýšení úrovně signálu. Tomu také nasvědčovala simulace, kde anténa s rovinným reflektorem má větší zisk než anténa s tyčovým reflektorem.

Na obrázku 3.9 je zaznamenán směr opačný, kdy reflektor v této pozici odstiňuje přijímací anténu od signálu vysílaného z vysílací antény. Je patrné, že při přidání reflektoru se úroveň signálu snížila oproti dipólu bez reflektoru. Reflektor tak má vliv na předozadní poměr. Ten závisí na dané anténě a typu reflektoru. U těchto použitých reflektorů má větší předozadní poměr reflektor z plechu. To lze vidět na první pohled při pohledu na obě reálné frekvenční charakteristiky, kdy reflektor z plechu úroveň signálu snižuje rapidně víc.

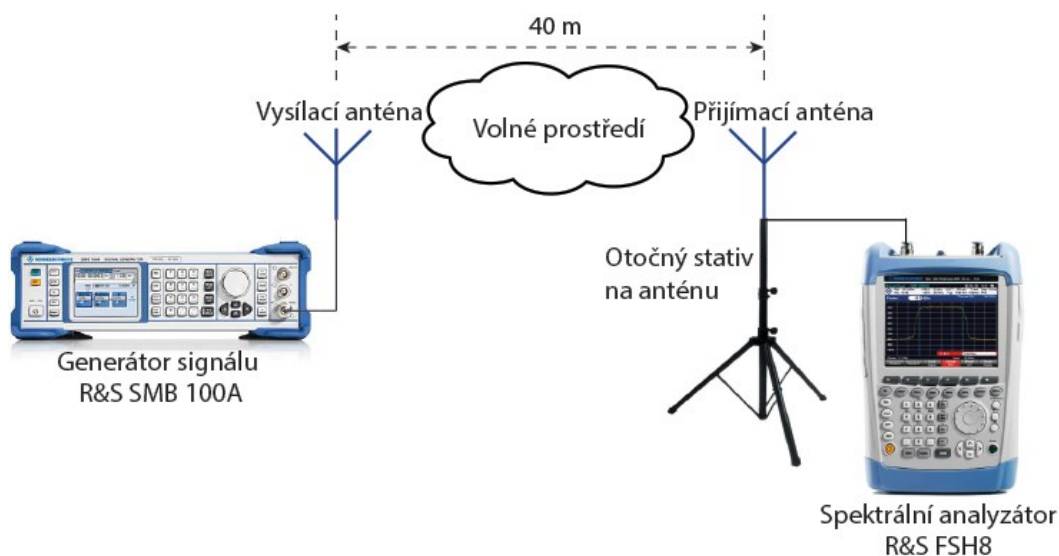


Obrázek 3.9: Zadní směr dipólu bez reflektoru a s reflektorem

3.5 Postup a výsledky měření směrové charakteristiky

Směrová charakteristika je popsána v kapitole 2.3.3. Jak už bylo zmíněno, měření by mělo probíhat ve speciálních místnostech, které jsou pro tyto měření vhodné. Dle literatury [3] se také používají automatizované verze měření. Měřená anténa je umístěna na točnu, která je ovládána počítačem a umožňuje natočení antény nejen v horizontální rovině, ale také v rovině vertikální, aby mohly být měřeny různé řezy prostorovým diagramem.

V tomto případě se o natáčení antény a vyhodnocování grafu nestará počítač, ale měření je provedeno manuálně podle schématu na obrázku níže.



Obrázek 3.10: Schéma měřícího pracoviště pro měření směrové charakteristiky

Postup při měření směrové charakteristiky vypadá následovně. Nejprve je třeba umístit vysílací anténu na místo tak, abychom měli mezi anténami přímý výhled a nic nestálo v cestě.

V opačném případě by mohla být narušena tzv. Fresnelova zóna⁶. Dalším krokem je přivedení signálu na vysílací anténu pomocí generátoru, který je nastaven na požadovanou výstupní úroveň a frekvenci, na které bude měřena úroveň signálu na přijímací anténě. Protože se směrová charakteristika měří ve vzdálené zóně, tzv. Fraunhoferova oblast, je třeba jít s anténou do určité vzdálenosti (viz kapitola 2.2).

Po umístění antény je třeba nastavit spektrální analyzátor do módu měření frekvenčního spektra, kdežto v předchozím měření byl v módu skalárního analyzátoru, a nastavit si frekvenci, kterou máme nastavenou také na generátoru. Ještě může být nastaveno měřítko span, které udává, jakou část spektra chceme na spektrálním analyzátoru zachycenou. Při vhodném nastavení tohoto kroku můžeme vidět vedle našeho signálu také okolní signály a sledovat tak i jejich změnu. Dále je třeba si umístit tzv. markery na místo signálů, kde chceme měřit úroveň. Důležitým krokem je nastavení tzv. average (průměrování). Tím zamezíme rychlým změnám, které se zobrazují na displeji. Signál je přístrojem průměrován, takže se hodnota ustaluje na střední hodnotě. Nyní je možné přejít k samotnému měření.

Při měření směrové charakteristiky je provedeno měření jen pro jednu rovinu. Je měřena horizontální rovina, která se měří tak, že se anténou otáčí kolem svislé osy po požadovaných krocích. V tomto případě je provedeno na jednu otočku anténou 36 měření (krok = 10°). Začíná se v kroku, kdy je měřená anténa čelem k vysílací anténě. Tato poloha je brána jako poloha 0° a následně se anténou otáčí. Při každém pootočení je třeba si zaznamenat hodnoty. Z takto získaných hodnot lze vytvořit polární graf, který je velmi názorný a je i výstupem simulačních programů pro modelování antén.

3.5.1 Magnetická anténa pro GSM

Tato anténa je měřena na frekvenci 980 MHz. Pro určení vzdálenosti reflektoru od antény je nutno vypočítat vlnovou délku a reflektor umístit do vzdálenosti $\lambda/4$. Popřípadě může být vzdálenost doladěna podle spektrálního analyzátoru do vzdálenosti, kdy má měřený signál nejvyšší úroveň.

Výpočet vlnové délky:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{980 \cdot 10^6} = 0,306 \text{ m} \quad (3.4)$$

Výpočet vzdálenosti reflektoru od antény:

$$s = \frac{\lambda}{4} = \frac{0,306}{4} = 0,0765 \text{ m} = 7,65 \text{ cm} \quad (3.5)$$

Jako reflektor byla použita reflektorová mříž z televizní antény, na kterou je přidělán hliníkový plech, protože síť nebyla příliš hustá. Rozměry reflektoru jsou 40x80 cm. Fotografie je na následujícím obrázku.

⁶ Fresnelova zóna – určuje objem prostoru, který je rozhodující pro přenos energie mezi vysílačem a přijímačem

Obrázek 3.11: *Magnetická anténa s reflektorem*

Celá tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze. V tabulce 3.2 jsou uvedeny hodnoty po kroku otočení 30° . Druhý a třetí sloupec tabulky se týká antény bez přidaného reflektoru. Čtvrtý a pátý sloupec jsou hodnoty s přidaným reflektorem k anténě. Protože se hodnoty vynášejí do polárního grafu, jsou hodnoty normované k anténě bez reflektoru při úhlu otočení 0° .

Tabulka 3.2: *Část naměřených hodnot magnetické antény*

Úhel otočení [°]	P _{bez} [dBm]	P _{bez_norm} [dB]	P _{refl} [dBm]	P _{refl_norm} [dB]
0	-38,2	0,0	-34,7	3,5
30	-38,4	-0,2	-32,1	6,1
60	-39,3	-1,1	-34,7	3,5
90	-39,5	-1,3	-41,3	-3,1
120	-39,3	-1,1	-51,1	-12,9
150	-39,4	-1,2	-58,9	-20,7
180	-40,1	-1,9	-57,3	-19,1
210	-39,8	-1,6	-52,7	-14,5
240	-38,8	-0,6	-49,6	-11,4
270	-38,4	-0,2	-40,3	-2,1
300	-39,3	-1,1	-32,0	6,2
330	-38,4	-0,2	-35,0	3,2

Výsledná směrová charakteristika je zobrazena v polárním grafu na obrázku 3.12. Hodnoty kolem kružnice určují směr ve stupních a hodnoty směřující ke středu grafu určují

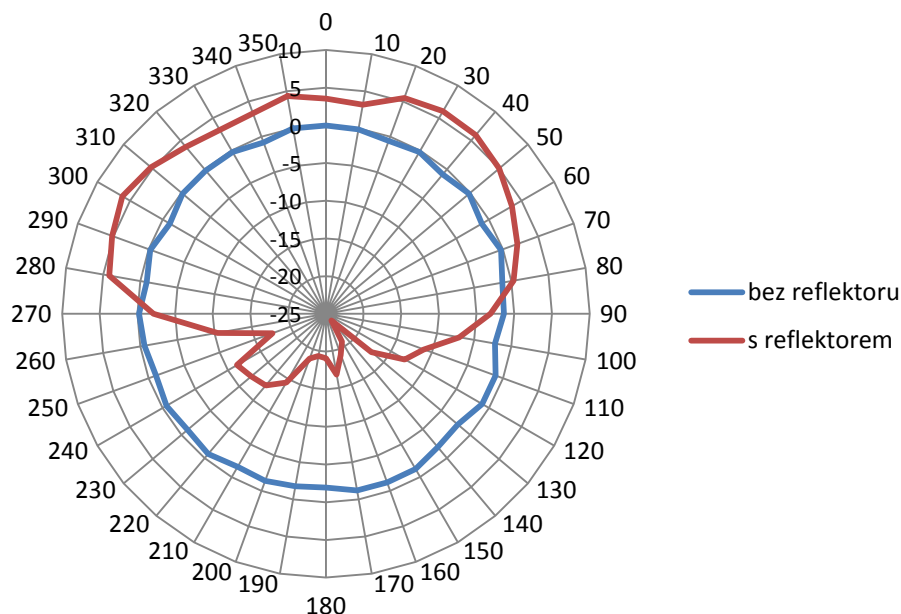
normovanou hodnotu v decibelech. Graf je názorný pro porovnání charakteristiky antény bez reflektoru a s reflektorem.

Po přidání reflektoru k této anténě je vidět jak se změnila charakteristika, která byla všesměrová. Ve směru, kdy je anténa s reflektorem čelem k vysílací anténě, je patrné, že v úsecích $280^\circ - 360^\circ$ a $0^\circ - 80^\circ$ došlo ke zlepšení úrovně signálu a tudíž ke zlepšení rádiového spoje. V tomto případě ne nijak velkým, ale i 3,5 dB je dobrým výsledkem. Zajímavější je zde výsledek opačného směru. Přidaný reflektor odstínil část příjmu za anténou, což určuje tzv. činitel zpětného příjmu nebo někdy označován jako předozadní poměr.

Určení činitele zpětného příjmu:

$$\check{ZP} = P_{refl_norm}[0^\circ] - P_{refl_norm}[180^\circ] = -3,5 - (-19,1) = 22,6 \text{ dB} \quad (3.6)$$

Magnetická anténa



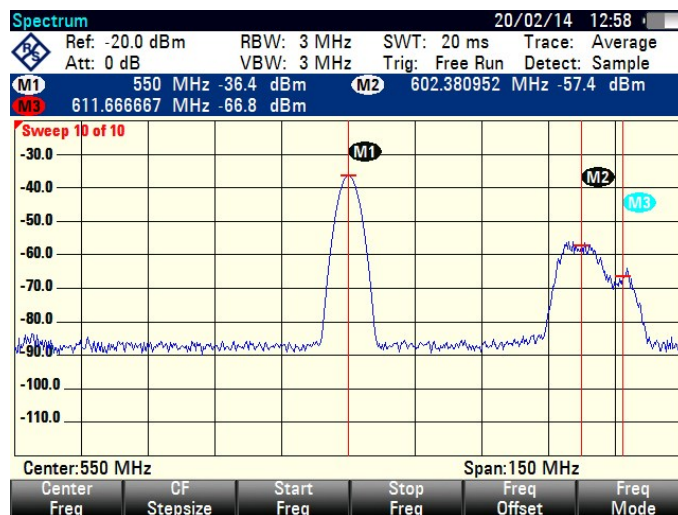
Obrázek 3.12: Graf směrové charakteristiky magnetické antény

Při pohledu na tuto charakteristiku a na charakteristiku ze simulace vertikální antény (obrázek 3.4) je vidět určitá shoda tvaru výsledné směrové charakteristiky. V praktickém měření vznikl zadní lalok, který v simulaci nevznikl. Zvýšení zisku po přidání reflektoru je v simulaci 5,6 dB vůči anténě bez reflektoru. V měření je zvýšení zisku vůči anténě bez reflektoru 3,5 dB až 6 dB (dle natočení antény), což odpovídá simulaci. Velikost reálného zisku nelze určit, protože nebyla k dispozici referenční anténa, která je potřebná k určení zisku.

3.5.2 Horizontální půlvlnný dipól

Půlvlnný dipól je měřen na frekvenci 550 MHz. Tato frekvence leží ve IV. televizním pásmu, konkrétně patří na rozhraní kanálu 30 a 31. Proto bylo třeba zjistit, zdali na této

frekvenci nevysílá nějaký blízký vysílač. Pro zjištění jsou použity webové stránky [10]. Na těchto stránkách se dají vyhledat informace ohledně multiplexů a kanálů pro jednotlivé DVB-T vysílače. Na kanále 30 a 31 nevysílal žádný blízký vysílač v Moravskoslezském kraji. Nejbližší kanál, na kterém je vysílán multiplex, je kanál 37. Na tomto kanále vysílají v Ostravě dva vysílače. Jedná se o vysílač Hošťálkovice a vodojemu Hladnov. Na obrázku 3.13 je snímek ze spektrálního analyzátoru, který zachycuje mnou měřený signál z generátoru, signál M2 (kanál 37 = frekvence 602 MHz) a signál M3, který odpovídá kanálu 38 vysílaným z vysílače Lanová v Ostravě.



Obrázek 3.13: Snímek spektrálního analyzátoru zachycující měřené spektrum

U této antény byly použity dva druhy reflektoru, reflektorová tyč (délka 45 cm a průměr 1,7 cm) a plech (40x20 cm). Výpočet vzdálenosti reflektoru od antény je vypočítána v kapitole 3.3.1 popisující simulaci tohoto půlvlnného dipólu. Reflektor je tedy umístěn ve vzdálenosti 13,5 cm od antény.



Obrázek 3.14: Půlvlnný dipól s reflektorem z vodivé tyče (vlevo) a s rovinným reflektorem z plechu (vpravo)

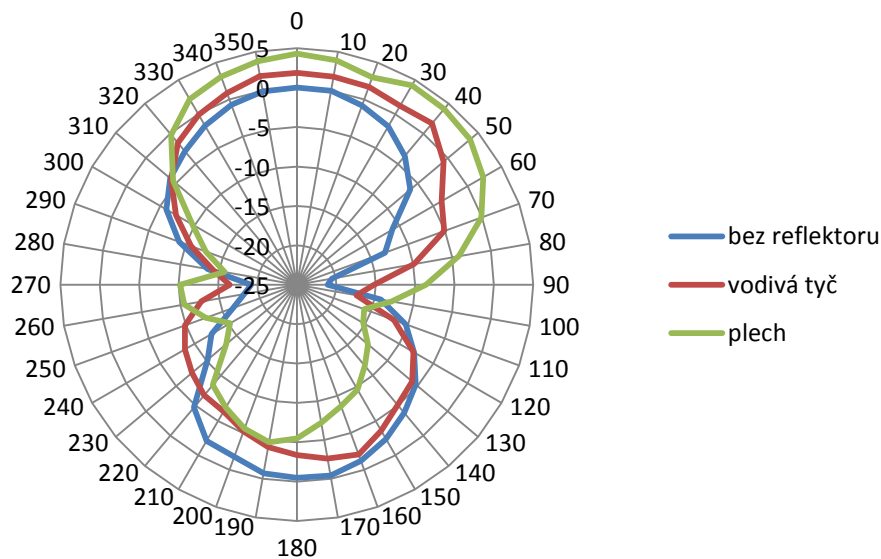
Celá tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze. V následující tabulce je část naměřených hodnot po kroku otočení 30°. Hodnoty P_{norm} jsou normované k hodnotě úrovně

dipólu bez reflektoru při úhlu 0° . Z těchto hodnot je sestaven polární graf, jenž představuje směrovou charakteristiku (obrázek 3.15).

Tabulka 3.3: Část naměřených hodnot půlvlnného dipólu

Úhel otočení [°]	P _{bez} [dBm]	P _{bez_norm} [dB]	P _{refl_tyc} [dBm]	P _{norm_refl_tyc} [dB]	P _{refl_plech} [dBm]	P _{norm_refl_plech} [dB]
0	-32,7	0,0	-30,8	1,9	-28,4	4,3
30	-34,5	-1,8	-31,5	1,2	-28,5	4,2
60	-43,7	-11,0	-36,5	-3,8	-30,4	2,3
90	-53,8	-21,1	-47,9	-15,2	-41,3	-8,6
120	-40,5	-7,8	-40,6	-7,9	-48,0	-15,3
150	-35,1	-2,4	-36,3	-3,6	-42,3	-9,6
180	-33,2	-0,5	-36,1	-3,4	-38,2	-5,5
210	-34,8	-2,1	-39,1	-6,4	-39,7	-7,0
240	-45,2	-12,5	-41,3	-8,6	-47,9	-15,2
270	-51,9	-19,2	-49,2	-16,5	-42,9	-10,2
300	-38,6	-5,9	-40,0	-7,3	-42,4	-9,7
330	-34,4	-1,7	-32,8	-0,1	-30,5	2,2

Horizontální půlvlnný dipól



Obrázek 3.15: Graf směrových charakteristik půlvlnného dipólu

Při pohledu na směrové charakteristiky lze vidět, jak přidání reflektoru ovlivnilo její tvar. Reflektor z vodivé tyče téměř kopíruje tvar charakteristiky dipólu bez reflektoru, ale přináší zlepšení v přední a zadní směru. Je ziskovější a zadní lalok je menší. Reflektor tak ovlivnil ČZP, který u dipólu bez reflektoru má být ideálně nulový. Ještě lepší výsledek je

dosažen s rovinným reflektorem z plechu. Ten přináší ještě větší zisk a hlavně lalok v zadním směru je užší a je také větší ČZP.

Protože půlvlnný dipól je chápán jako referenční anténa, může být určen zisk antény po přidání reflektoru. Tyto zisky tak mohou být porovnány s teoretickými zisky, které jsou výstupem simulace z programu 4NEC2 (kapitola 3.3.1). Co se týče tvaru naměřených a nasimulovaných směrových charakteristik, lze vidět, že simulace zhruba odpovídá skutečným charakteristikám. Nepatrné odchylky jsou především v místech, kdy měření ovlivnily odrazy signálu od okolní budovy. Především pravá strana charakteristiky ($50^\circ - 90^\circ$) a na levé straně ($250^\circ - 270^\circ$), kde u dipólu s rovinným reflektorem vznikl malý nežádoucí lalok vlivem okolních vodivých předmětů.

Ke zjištění zisku a ČZP po přidání reflektoru k anténě lze využít normovaných hodnot k dipólu bez reflektoru, které jsou v tabulce 3.3. Například u reflektoru s vodivou tyčí je normovaná hodnota při úhlu 0° stupňů $P_{\text{norm}} = 1,9$ dB. To znamená, že má zisk 1,9 dB vůči půlvlnnému dipólu. Tento zisk je možné, přičtením hodnoty 2,15 dB, převést na zisk vůči izotropickému zářiči a poté porovnat s hodnotami ze simulace, které jsou v jednotkách dBi. Hodnotu ČZP lze získat odečtením normovaných hodnot antény s daným reflektorem při úhlu otočení 0° a 180° .

Ukázka výpočtu zisku antény s reflektorem z vodivé tyče v jednotkách dBi:

$$G_{dBi} = G_{dbd} + 2,15 = 1,9 + 2,15 = 4,05 \text{ dBi} \quad (3.7)$$

Ukázka výpočtu ČZP:

$$\text{ČZP} = P_{\text{norm_refl_tyc}}[0^\circ] - P_{\text{norm_refl_tyc}}[180^\circ] = 1,9 - (-3,4) = 5,3 \text{ dB} \quad (3.8)$$

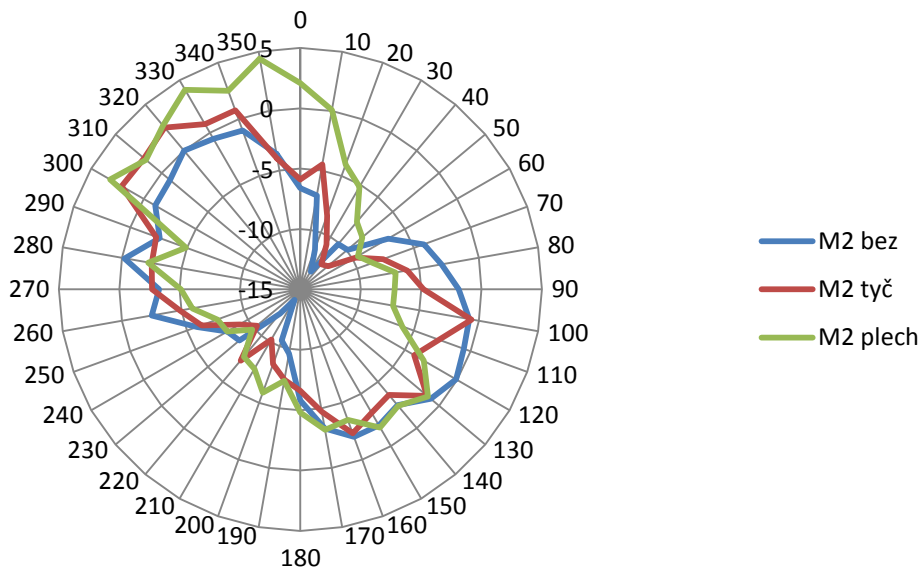
Tabulka 3.4: Parametry zisku a ČZP půlvlnného dipólu s přidáním reflektorem

Typ reflektoru	Měření			Simulace	
	Zisk [dBd]	Zisk [dBi]	ČZP [dB]	Zisk [dBi]	ČZP [dB]
Vodivá tyč	1,9	4,05	5,3	4,02	5,7
Plech	4,3	6,45	9,8	6,53	12,5

V tabulce 3.4 je srovnání hodnot zisku a ČZP ze simulace a z naměřených hodnot. Na první pohled lze vidět, že teoretické předpoklady ze simulace zhruba odpovídají hodnotám, které jsou vypočtené z naměřených hodnot. Hodnoty zisku se liší jen nepatrně, ale poněkud více se odlišuje parametr ČZP, který je ve skutečnosti menší než v simulaci.

Na obrázku 3.16 je zobrazen graf, který znázorňuje, jak se měnila úroveň signálu ze vzdáleného vysílače po přidání reflektoru. Podobně jako u signálu z generátoru se úroveň mění. Podle toho v jaké pozici je reflektor s anténou vůči signálu (reflektor s anténou směřují čelem k vysílači či reflektor odstiňuje anténu od tohoto vysílače). V určitých místech je úroveň signálu větší a v jiných se uplatňuje ČZP antény a úroveň signálu klesá. Tabulka je uvedena v příloze.

Signál M2 z okolního televizního vysílače



Obrázek 3.16: Graf přijímaného signálu M2 (z vysílače Hošťálkovice)

3.5.3 Pendreková anténa

U této antény je proveden experiment, kdy je anténa umístěna do otevřené plechovky (výška 16 cm a průměr 15 cm). Plechovka tak obklopuje anténu nejen zezadu jako u předešlých použitých reflektorů, ale také zboku což by mělo mít lepší účinek ve formě zvýšení úrovně signálu a také směrovosti.

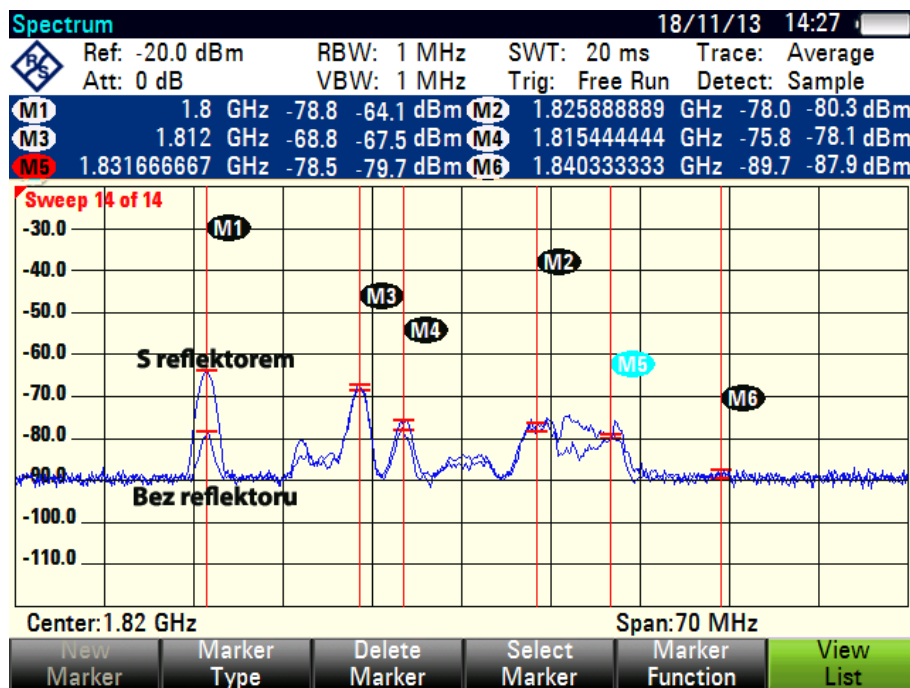


Obrázek 3.17: Pendreková anténa umístěná v plechovce

Anténa je měřena na frekvenci 1,8 GHz. Frekvence odpovídá pásmu GSM 1800⁷. Na spektrálním analyzátoru jsou také kromě signálu z generátoru další okolní signály z BTS stanic.

⁷ GSM 1800 – uplink 1710 - 1785 MHz, downlink 1805 – 1880 MHz

Na níže umístěném obrázku je snímek, ve kterém je zachyceno měřené spektrum antény bez reflektoru a také s reflektorem, kdy je anténa umístěna v plechovce ve směru čelně k vysílací anténě. Signál z generátoru je signál označený markerem M1. Ostatní signály M2 – M5 jsou signály z okolí. Hodnoty jednotlivých úrovní signálů antény bez reflektoru jsou v levém sloupci a v pravém jsou hodnoty po umístění antény do plechovky.



Obrázek 3.18: Snímek ze spektrálního analyzátoru při měření pendrekové antény

Při pohledu na signál z generátoru (M1) je viditelné, jak po umístění antény do plechovky se zlepšil rádiový spoj. Ze signálu, jehož úroveň byla téměř -80 dBm se po přidání reflektoru úroveň zvedla na -64 dBm. Bez reflektoru byl tento signál pod úrovní okolních signálů a poté byla úroveň signálu největší. Okolní signály se v tomto směru změnily pouze nepatrně. Pro lepší změnu by byla vhodnější plechovka se silnějšími stěnami, která by mohla přinést lepší změny.

Na obrázku 3.19 je zobrazen graf směrové charakteristiky. Pro anténu bez reflektoru je směrová charakteristika ideálně kruhová, protože se hodnoty při otáčení bez reflektoru mění jen nepatrně. Proto jsem k výsledné charakteristice a hodnotě, ke které budou normovány hodnoty s reflektorem, použil hodnotu z předešlého snímku (hodnota -78,8 dBm) ze spektrálního analyzátoru. Ze směrové charakteristiky je patrné jak reflektor z plechovky pozitivně ovlivnil rádiový spoj. Vznikl poměrně úzký hlavní lalok a velký ČZP. Vzniklý lalok na pravé straně charakteristiky je lalok, který vznikl vlivem okolní budovy, odkud se signál mohl odrážet a vnesl tak chybu do měření. Otočením antény směrem na tuto budovu tak došlo k zachycení odraženého signálu a vznikl tento nežádoucí lalok. V tabulce 3.5 je část naměřených hodnot. Celá tabulka je uvedena v příloze.

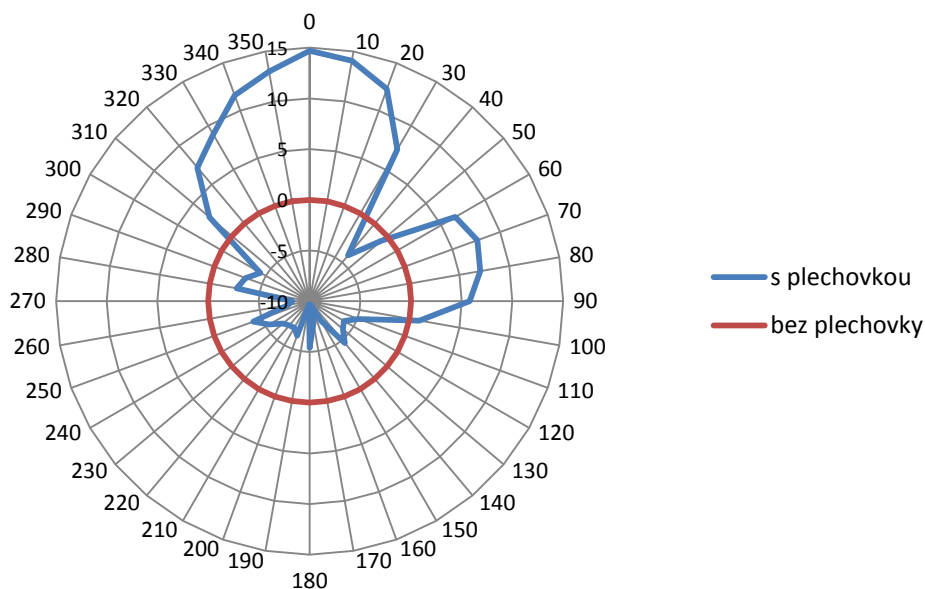
Tabulka 3.5: Část naměřených hodnot pendrekové antény

Signál	M1	M1	M3	M4
Úhel otočení [°]	P_{refl} [dBm]	P_{norm} [dB]	P_{refl} [dBm]	P_{refl} [dBm]
0	-64,1	14,7	-67,5	-78,1
60	-72,2	6,6	-80,7	-87,2
120	-84,9	-6,1	-69,9	-77,9
180	-84,2	-5,4	-67,6	-80,0
240	-84,2	-5,4	-73,8	-77,6
300	-83,2	-4,4	-66,9	-68,4

Výpočet ČZP:

$$\check{Z}P = P_{\text{norm}}[0^\circ] - P_{\text{norm}}[180^\circ] = 14,7 - (-5,4) = 20,1 \text{ dB} \quad (3.9)$$

Pendreková anténa



Obrázek 3.19: Směrová charakteristika pendrekové antény

Naměřená a simulovaná charakteristika (obrázek 3.5) této antény s plechovkou je značně odlišná. Tvar se příliš nepodobá a ani zvýšení zisku vůči anténě bez reflektoru se neshodují jako v předchozích případech, kdy výsledky simulace byli podobné. To může být dáno tím, že není známa přesná struktura měřené antény a proto je simulace provedena pouze pro ukázkou jak by se měla změnit směrová charakteristika.

V dalším grafu (obrázek 3.20) je zobrazen průběh, jak se měnily okolní signály při otáčení plechovky s anténou. Podle úrovně těchto signálů je možné lokalizovat směr, ze kterého pochází. Tím, že anténa po vložení do plechovky má poměrně úzký hlavní lalok, a dosahuje tak v hlavním směru nejvyššího zisku, lze podle nejvyšší naměřené úrovně určit směr, odkud signál

přichází. Problémem zde však jsou okolní budovy, od kterých se signál může odrážet a na průběhu těchto signálů více špiček, které by mohly být zdrojem směru. Příkladem může být signál M3, který má nejvyšší úroveň ve dvou směrech.

Z grafu je také pozorovatelné, že hlavní měřený signál z generátoru je nad úrovní okolních signálů jen prvních 30° a poté jej plechovka odstiňuje a úroveň signálu klesá. V rozmezí 60°-100° je sice taky nad úrovní okolních signálů, ale jedná se o lalok vzniklý odrazem, jinak by měl signál úroveň menší. Tím, že se anténa vložila do plechovky, přineslo ve směru 0° zachyceném na snímku ze spektrálního analyzátoru (obrázek 3.18) zvýšení poměru signál/šum (označován jako S/N). Pokud označím signál M3 či M4 jako šum, lze vypočítat S/N následovně:

Pro šum N=M3:

$$\text{Bez reflektoru} : \frac{S}{N} = -78,8 - (-68,8) = -10 \text{ dB} \quad (3.10)$$

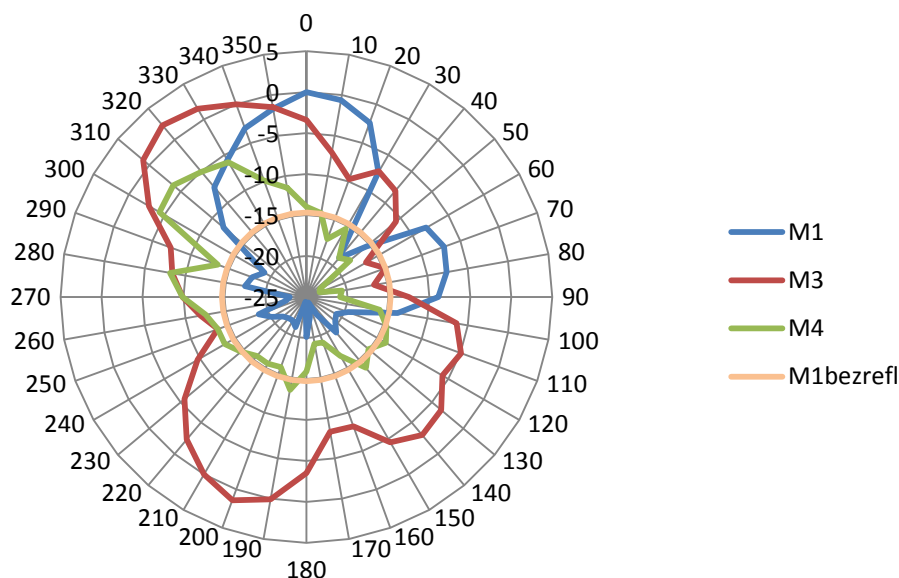
$$S \text{ reflektorem} : \frac{S}{N} = -64,1 - (-67,5) = 3,4 \text{ dB} \quad (3.11)$$

Pro šum N=M4:

$$\text{Bez reflektoru} : \frac{S}{N} = -78,8 - (-75,8) = -3 \text{ dB} \quad (3.12)$$

$$S \text{ reflektorem} : \frac{S}{N} = -64,1 - (-78,1) = 14 \text{ dB} \quad (3.13)$$

Průběh okolních signálů a signálu z generátoru



Obrázek 3.20: Graf signálu z generátoru a okolních signálů v závislosti na otočení antény

4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit změnu parametrů všesměrové antény po přidání kovového stínění či reflektoru. Nejprve byla popsána základní problematika antén, co je to anténa, princip vyzařování, charakteristické vlastnosti a základní rozdělení antén.

Dále bylo popsáno, čím se vyznačuje reflektor a jaké typy reflektoru se využívají v praxi. Pro vybrané antény byla provedena simulace v programu 4NEC2 s danými typy reflektoru. Cílem simulace bylo vytvořit předpoklad, jak se změní směrová charakteristika všesměrové antény a tyto simulace potvrdit měřením. Ze simulací bylo patrné, jak reflektor dokáže zlepšit rádiový spoj ve formě zlepšení parametrů antény. Reflektor ovlivňuje parametry směrovosti, zisku, činitele zpětného příjmu či odstupu signál šum.

Měření probíhalo ve volném prostoru. To má za následek určité zkreslení výsledků vlivem odrazů od okolních budov a vodivých předmětů. V případě, kdyby měření probíhalo v bezodrazové komoře, by mohly být výsledky bez nežádoucích laloků ve směrových charakteristikách. I tak se dosáhlo podobných výsledků jako v simulaci. Měření se tak ověřilo, že přidáním reflektoru k všesměrové anténě můžeme dosáhnout lepšího rádiového spoje za cenu toho, že anténa nezůstane všesměrová. Zvýší se tak činitel zpětného příjmu. Tím se stane anténa částečně směrovou a zvýší se tak zisk. Toho můžeme využít, jestliže přijímáme se všesměrovou anténou signál malé úrovně. Přidáním reflektoru do správné vzdálenosti se úroveň zvýší a dosáhneme tak úrovně, která nám může zaručit lepší kvalitu rádiového spoje. Příkladem může být WiFi spoj, kde malé zvýšení úrovně může přinést zvýšení přenosové rychlosti.

Byly změřeny tři všesměrové antény, ke kterým byl přidán určitý typ reflektoru. Byl použit rovinný reflektor z plechu, tyčový reflektor a pokus s vložením antény do plechovky. Z naměřených výsledků je patrné, že lepší účinky má plošný reflektor oproti reflektoru z tyče. Rovinným reflektorem se dosáhlo většího zisku a také činitele zpětného příjmu. Ani jednolitý plech použitý jako reflektor však nedokáže zcela odstínit prostor za anténou a vzniká určitý zadní lalok.

Z pohledu dalšího zaobírání se tímto tématem by bylo dobré zhodnotit jaký vliv má i tvar reflektoru přidáný k anténě na výsledné směrové charakteristice. Například u půlvlnného dipólu vyzkoušet kromě použitého tyčového a rovinného reflektoru také mřížový, úhlový či parabolický. A také zhodnotit jaký vliv má vzdálenost umístění reflektoru od antény, protože v případě špatného umístění reflektoru může být odražená vlna v protifázi a tím znemožnit zvýšení úrovně signálu.

Použitá literatura

- [1] MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008, 103 s. ISBN 978-80-01-03997-7
- [2] MATUSZCZYK, Jacek. Antény prakticky. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 239 s. ISBN 80-730-0084-9
- [3] PROCHÁZKA, Miroslav. Antény: Encyklopedická příručka. 3., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 287 s. ISBN 80-730-0166-7
- [4] MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. Šíření elektromagnetických vln a antény. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 259 s. ISBN 80-010-3032-6.
- [5] IKRÉNYI, Imrich. Amatérské krátkovlnové antény. 1964. vyd. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1964. 1. Vydání
- [6] VAVRA, Š. Antény a šírenie elektromagnetických vln. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1989, 424 s. ISBN 80-050-0131-2
- [7] ŠÍDLO, Miroslav. Dipól. *Airwire CZ home: antény pro krátké vlny a příslušenství* [online]. 2011 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.sidlo.com/oklufc/Dipol.htm>
- [8] VAVROŠ, Petr. *GP anténa*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava. Vedoucí práce Ing. Marek Dvorský, Ph.D.
- [9] *Multimediální učebnice: Elektromagnetické vlny, Mikrovlnná technika* [online]. FEEC VUT Brno, 2010 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php>
- [10] *Digitální televize* [online]. 2004 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/>
- [11] DIPOL. *DIPOL* [online]. 1996 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: http://www.dipol.sk/yagi_uhf_tv_antena_dipol_11-21-60_A1112.htm
- [12] BALANIS, Constantine A. *Antenna theory: analysis and design*. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005, xvii, 1117 s. ISBN 978-0-471-66782-7.

Seznam příloh

Příloha A:	Naměřené hodnoty	I
Příloha B:	Geometrie simulace 4NEC2	vi

Příloha A: *Naměřené hodnoty*

Tabulka A.1: *Celá tabulka naměřených hodnot magnetické antény*

Úhel otočení [°]	P _{bez} [dBm]	P _{bez_norm} [dB]	P _{refl} [dBm]	P _{refl_norm} [dB]
0	-38,2	0,0	-34,7	3,5
10	-38,3	-0,1	-35,0	3,2
20	-38,8	-0,6	-32,7	5,5
30	-38,4	-0,2	-32,1	6,1
40	-39,0	-0,8	-32,3	5,9
50	-38,4	-0,2	-33,2	5,0
60	-39,3	-1,1	-34,7	3,5
70	-38,4	-0,3	-36,2	2,0
80	-39,4	-1,2	-37,9	0,3
90	-39,5	-1,3	-41,3	-3,1
100	-40,4	-2,2	-45,2	-7,0
110	-39,2	-1,0	-49,4	-11,2
120	-39,3	-1,1	-51,1	-12,9
130	-40,3	-2,2	-55,3	-17,1
140	-40,1	-1,9	-62,0	-23,8
150	-39,4	-1,2	-58,9	-20,7
160	-39,4	-1,2	-57,4	-19,2
170	-39,4	-1,2	-55,0	-16,8
180	-40,1	-1,9	-57,3	-19,1
190	-39,9	-1,8	-57,5	-19,3
200	-39,6	-1,4	-56,9	-18,7
210	-39,8	-1,6	-52,7	-14,5
220	-38,9	-0,7	-50,8	-12,6
230	-39,2	-1,1	-50,3	-12,1
240	-38,8	-0,6	-49,6	-11,4
250	-39,2	-1,0	-55,6	-17,5
260	-38,8	-0,6	-48,6	-10,4
270	-38,4	-0,2	-40,3	-2,1
280	-39,0	-0,8	-34,0	4,2
290	-38,4	-0,2	-33,0	5,2
300	-39,3	-1,1	-32,0	6,2
310	-38,4	-0,2	-32,9	5,3
320	-38,4	-0,2	-34,3	3,9
330	-38,4	-0,2	-35,0	3,2
340	-39,0	-0,8	-34,9	3,3
350	-38,2	0,0	-33,9	4,3

Tabulka A.2: Celá tabulka horizontálního půlvlnného dipólu

Úhel otočení [°]	P _{bez} [dBm]	P _{bez_norm} [dB]	P _{refl_tyc} [dBm]	P _{norm_refl_tyc} [dB]	P _{refl_plech} [dBm]	P _{norm_refl_plech} [dB]
0	-32,7	0,0	-30,8	1,9	-28,4	4,3
10	-32,7	0,0	-30,9	1,8	-28,8	3,9
20	-33,5	-0,8	-31,0	1,7	-29,7	3,0
30	-34,5	-1,8	-31,5	1,2	-28,5	4,2
40	-36,4	-3,7	-31,0	1,7	-28,6	4,1
50	-38,9	-6,2	-33,4	-0,7	-29,0	3,7
60	-43,7	-11,0	-36,5	-3,8	-30,4	2,3
70	-45,8	-13,1	-37,8	-5,1	-32,8	-0,1
80	-53,2	-20,5	-42,6	-9,9	-36,8	-4,1
90	-53,8	-21,1	-47,9	-15,2	-41,3	-8,6
100	-46,9	-14,2	-50,0	-17,3	-45,5	-12,8
110	-43,0	-10,3	-44,6	-11,9	-48,6	-15,9
120	-40,5	-7,8	-40,6	-7,9	-48,0	-15,3
130	-38,0	-5,3	-38,6	-5,9	-45,9	-13,2
140	-36,5	-3,8	-37,8	-5,1	-44,3	-11,6
150	-35,1	-2,4	-36,3	-3,6	-42,3	-9,6
160	-33,9	-1,2	-34,8	-2,1	-41,3	-8,6
170	-33,1	-0,4	-35,3	-2,6	-39,9	-7,2
180	-33,2	-0,5	-36,1	-3,4	-38,2	-5,5
190	-33,4	-0,7	-36,8	-4,1	-37,4	-4,7
200	-34,5	-1,8	-37,9	-5,2	-38,3	-5,6
210	-34,8	-2,1	-39,1	-6,4	-39,7	-7,0
220	-37,4	-4,7	-39,4	-6,7	-41,1	-8,4
230	-42,9	-10,2	-40,3	-7,6	-46,0	-13,3
240	-45,2	-12,5	-41,3	-8,6	-47,9	-15,2
250	-49,1	-16,4	-42,6	-9,9	-45,4	-12,7
260	-50,9	-18,2	-45,4	-12,7	-43,2	-10,5
270	-51,9	-19,2	-49,2	-16,5	-42,9	-10,2
280	-46,2	-13,5	-46,9	-14,2	-48,4	-15,7
290	-41,8	-9,1	-43,4	-10,7	-45,4	-12,7
300	-38,6	-5,9	-40,0	-7,3	-42,4	-9,7
310	-36,7	-4,0	-36,9	-4,2	-37,2	-4,5
320	-35,6	-2,9	-34,2	-1,5	-32,9	-0,2
330	-34,4	-1,7	-32,8	-0,1	-30,5	2,2
340	-33,4	-0,7	-31,8	0,9	-29,6	3,1
350	-32,8	-0,1	-30,8	1,9	-28,9	3,8

Tabulka A.3 : Tabulka horizontálního dipólu (signál M2 z vysílače)

Signál M2						
Úhel otočení [°]	P _{refl} [dBm]	P _{norm} [dB]	P _{refl_tyc} [dBm]	P _{norm_tyc} [dB]	P _{refl_plech} [dBm]	P _{norm_plech} [dB]
0	-53,9	-6,6	-53,2	-5,9	-45,2	2,1
10	-54,4	-7,1	-51,8	-4,5	-47,2	0,1
20	-58,8	-11,5	-55,8	-8,5	-51,3	-4,0
30	-60,6	-13,3	-58,0	-10,7	-52,5	-5,2
40	-57,4	-10,1	-59,6	-12,3	-55,0	-7,7
50	-57,2	-9,9	-59,3	-12,0	-55,6	-8,3
60	-53,9	-6,6	-57,0	-9,7	-56,8	-9,5
70	-51,4	-4,1	-55,0	-7,7	-55,9	-8,6
80	-50,4	-3,1	-53,3	-6,0	-54,3	-7,0
90	-49,2	-1,9	-52,1	-4,8	-54,5	-7,2
100	-48,1	-0,8	-47,9	-0,6	-54,5	-7,2
110	-47,9	-0,6	-50,1	-2,8	-53,3	-6,0
120	-47,4	-0,1	-51,4	-4,1	-50,5	-3,2
130	-48,2	-0,9	-48,6	-1,3	-48,5	-1,2
140	-49,8	-2,5	-50,9	-3,6	-49,7	-2,4
150	-49,3	-2,0	-50,5	-3,2	-49,1	-1,8
160	-49,3	-2,0	-49,6	-2,3	-50,8	-3,5
170	-50,6	-3,3	-52,0	-4,7	-50,5	-3,2
180	-53,1	-5,8	-53,9	-6,6	-52,1	-4,8
190	-56,9	-9,6	-54,7	-7,4	-54,6	-7,3
200	-57,8	-10,5	-55,7	-8,4	-53,2	-5,9
210	-61,3	-14,0	-57,5	-10,2	-54,7	-7,4
220	-59,7	-12,4	-54,6	-7,3	-55,0	-7,7
230	-55,7	-8,4	-57,6	-10,3	-57,1	-9,8
240	-55,3	-8,0	-56,5	-9,2	-55,3	-8,0
250	-53,2	-5,9	-53,6	-6,3	-55,0	-7,7
260	-49,8	-2,5	-52,2	-4,9	-53,2	-5,9
270	-50,6	-3,3	-50,0	-2,7	-52,4	-5,1
280	-47,5	-0,2	-49,8	-2,5	-49,5	-2,2
290	-49,9	-2,6	-49,6	-2,3	-52,2	-4,9
300	-48,4	-1,1	-45,2	2,1	-44,1	3,2
310	-48,2	-0,9	-45,4	1,9	-45,6	1,7
320	-47,3	0,0	-44,8	2,5	-44,6	2,7
330	-47,9	-0,6	-46,5	0,8	-43,2	4,1
340	-48,3	-1,0	-46,5	0,8	-44,8	2,5
350	-50,9	-3,6	-51,3	-4,0	-42,9	4,4

Tabulka A.4 : Celá tabulka pendrekové antény v plechovce

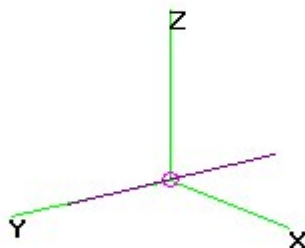
Signál	M1	M1
Úhel otočení	P_{refl} [dBm]	P_{norm} [dB]
0	-64,1	14,7
10	-64,7	14,1
20	-66,5	12,3
30	-71,5	7,3
40	-82,9	-4,1
50	-79,5	-0,7
60	-72,2	6,6
70	-71,2	7,6
80	-71,7	7,1
90	-73,0	5,8
100	-77,8	1,0
110	-83,7	-4,9
120	-84,9	-6,1
130	-84,5	-5,7
140	-83,4	-4,6
150	-86,6	-7,8
160	-88,4	-9,6
170	-86,6	-7,8
180	-84,2	-5,4
190	-88,5	-9,7
200	-85,2	-6,4
210	-85,8	-7,0
220	-85,7	-6,9
230	-85,4	-6,6
240	-84,2	-5,4
250	-82,9	-4,1
260	-86,6	-7,8
270	-87,1	-8,3
280	-81,5	-2,7
290	-82,1	-3,3
300	-83,2	-4,4
310	-75,9	2,9
320	-71,6	7,2
330	-69,8	9,0
340	-67,2	11,6
350	-65,8	13,0

Tabulka A.5 – Tabulka okolních signálů M3 a M4 pendrekové antény normované k signálu M1

Signál	M1	M1	M3	M3	M4	M4
Úhel otočení [°]	P _{refl} [dBm]	P _{norm} [dB]	P _{refl} [dBm]	P _{norm} [dB]	P _{refl} [dBm]	P _{norm} [dB]
0	-64,1	0,0	-67,5	-3,4	-78,1	-14,0
10	-64,7	-0,6	-71,2	-7,1	-78,7	-14,6
20	-66,5	-2,4	-73,8	-9,7	-81,6	-17,5
30	-71,5	-7,4	-71,4	-7,3	-79,5	-15,4
40	-82,9	-18,8	-72,2	-8,1	-82,9	-18,8
50	-79,5	-15,4	-74,8	-10,7	-82,1	-18,0
60	-72,2	-8,1	-80,7	-16,6	-87,2	-23,1
70	-71,2	-7,1	-78,8	-14,7	-87,4	-23,3
80	-71,7	-7,6	-80,7	-16,6	-84,7	-20,6
90	-73,0	-8,9	-76,6	-12,5	-85,0	-20,9
100	-77,8	-13,7	-70,5	-6,4	-80,0	-15,9
110	-83,7	-19,6	-69,0	-4,9	-78,7	-14,6
120	-84,9	-20,8	-69,9	-5,8	-77,9	-13,8
130	-84,5	-20,4	-67,6	-3,5	-79,2	-15,1
140	-83,4	-19,3	-67,1	-3,0	-77,8	-13,7
150	-86,6	-22,5	-68,6	-4,5	-80,8	-16,7
160	-88,4	-24,3	-72,3	-8,2	-83,2	-19,1
170	-86,6	-22,5	-72,4	-8,3	-83,3	-19,2
180	-84,2	-20,1	-67,6	-3,5	-80,0	-15,9
190	-88,5	-24,4	-64,0	0,1	-77,6	-13,5
200	-85,2	-21,1	-62,7	1,4	-80,0	-15,9
210	-85,8	-21,7	-64,1	0,0	-79,7	-15,6
220	-85,7	-21,6	-66,4	-2,3	-79,7	-15,6
230	-85,4	-21,3	-69,7	-5,6	-78,7	-14,6
240	-84,2	-20,1	-73,8	-9,7	-77,6	-13,5
250	-82,9	-18,8	-77,6	-13,5	-77,6	-13,5
260	-86,6	-22,5	-76,0	-11,9	-76,6	-12,5
270	-87,1	-23,0	-74,0	-9,9	-74,0	-9,9
280	-81,5	-17,4	-72,5	-8,4	-72,2	-8,1
290	-82,1	-18,0	-71,5	-7,4	-77,6	-13,5
300	-83,2	-19,1	-66,9	-2,8	-68,4	-4,3
310	-75,9	-11,8	-63,1	1,0	-67,9	-3,8
320	-71,6	-7,5	-61,8	2,3	-69,2	-5,1
330	-69,8	-5,7	-62,6	1,5	-70,1	-6,0
340	-67,2	-3,1	-64,1	0,0	-74,0	-9,9
350	-65,8	-1,7	-65,6	-1,5	-75,6	-11,5

dip_bez.out

550 MHz



Theta : 110

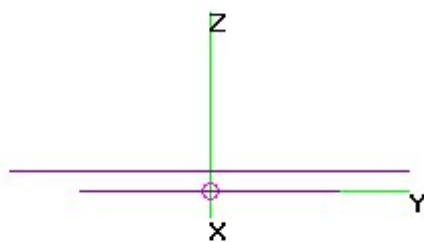
Axis : 0.2 mtr

Phi : 217

Obrázek B.1: *Geometrie půlvlnného dipólu*

dip_tyc.out

550 MHz



Theta : 81

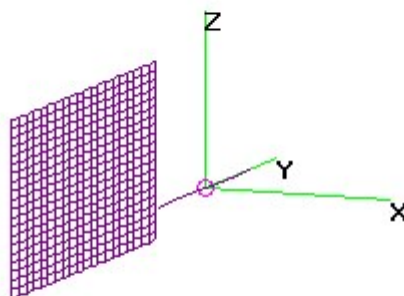
Axis : 0.2 mtr

Phi : 360

Obrázek B.2: *Geometrie půlvlnného dipólu s tyčovým reflektorem*

dip_plech.out

550 MHz



Theta : 80

Axis : 0.2 mtr

Phi : 291

Obrázek B.3: *Geometrie půlvlnného dipólu s rovinným reflektorem z plechu*